

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»

Факультет химико-биологических и географических наук

Кафедра экологии и географии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 Г.Г. Сушко

29.06.2022

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 Т.А. Толкачева

29.06.2022

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

# ЭКОЛОГИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

для специальности

1-33 01 01 Биоэкология

Составитель: И.А. Литвенкова

Рассмотрено и утверждено

на заседании научно-методического совета 04.07.2022, протокол № 5

УДК 502.131.1(075.8)

ББК 20.1я73

Э40

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 4 от 05.05.2022.

Составитель: доцент кафедры экологии и географии ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук, доцент **И.А. Литвенкова**

**Р е ц е н з е н т ы :**

кафедра экологии и химических технологий УО «ВГТУ»;  
доцент кафедры зоологии и ботаники ВГУ имени П.М. Машерова,  
кандидат биологических наук, доцент *И.И. Ефременко*

**Экология городской среды для специальности 1-33 01 01**  
**Э40 Биоэкология : учебно-методический комплекс по учебной дисциплине / сост. И.А. Литвенкова. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2022. – 176 с.**  
**ISBN 978-985-517-952-9.**

Предлагаются учебная программа, задания для лабораторных и практических работ, материалы для самостоятельной деятельности и самопроверки знаний, вопросы к зачету по дисциплине «Экология городской среды» для студентов специальности 1-33 01 01 Биоэкология.

**УДК 502.131.1(075.8)**

**ББК 20.1я73**

**ISBN 978-985-517-952-9**

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	4
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b> .....	5
<b>Модуль 1</b> .....	5
Лекция 1. Введение. Город как урбоэкосистема .....	5
Лекция 2. Экологические основы водопотребления и очистки сточных вод в городах .....	20
Лекция 3. Геологическая среда города .....	41
<b>Модуль 2</b> .....	50
Лекция 4–5. Воздушный бассейн города .....	50
Лекция 6. Бытовые и производственные отходы. Санитарная очистка городов .....	78
<b>Модуль 3</b> .....	90
Лекция 7. Экология флоры и фауны в условиях городской среды ...	90
<b>Модуль 4</b> .....	111
Лекция 8. Экологические проблемы городов Беларуси .....	111
<b>ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b> .....	123
<b>Модуль 1</b> .....	123
Лабораторная работа № 1 .....	123
Лабораторная работа № 2 .....	129
Лабораторная работа № 3 .....	131
Лабораторная работа № 4.....	134
<b>Модуль 2</b> .....	138
Лабораторная работа № 5 .....	138
Лабораторная работа № 6 .....	142
Лабораторная работа № 7 .....	144
Лабораторная работа № 8 .....	147
<b>Модуль 3</b> .....	150
Лабораторная работа № 9 .....	150
<b>Модуль 4</b> .....	155
Лабораторная работа № 10 .....	155
Практическая работа .....	160
<b>РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ</b> .....	162
Контроль знаний по модулю I .....	162
Контроль знаний по модулю II .....	164
Контроль знаний по модулю III .....	167
Контроль знаний по модулю IV .....	169
Итоговый контроль. Вопросы к зачету по курсу «Экология городской среды» .....	171
<b>ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ</b> .....	174
Рекомендуемая литература .....	174
Тематика для написания рефератов .....	175

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленный учебно-методический комплекс включает учебную программу курса «Экология городской среды», теоретический материал, задания для проведения лабораторных работ, контролирующие материалы, список литературы. Представленный материал разбит на четыре модуля: «Введение. Водные и почвенные ресурсы урбанизированных территорий и их качество», «Состояние воздушного бассейна городов и обращение с отходами: проблемы и решения», «Городская флора и фауна», «Экологические проблемы городов Беларуси, пути оптимизации».

В теоретическом блоке подробно изложены вопросы экологии воздушной, водной, почвенной среды, обращению с коммунальными отходами и отходами производства, экологии флоры и фауны в условиях урбоэкосистем. При выполнении лабораторных работ студенты на практике познакомятся с вопросами нормирования загрязнения городской среды и мероприятиями по защите атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвенного покрова. Уделяется внимание экологическим проблемам городов Беларуси. Комплекс содержит контролирующие тесты для каждого модуля, вопросы к зачету.

Изучение данной учебной дисциплины должно обеспечить у студентов формирование компетенций: применять экологические знания в целях оптимизации хозяйственного использования природных ресурсов, управления природными и антропогенными ландшафтами, популяциями ресурсных и охраняемых видов. В результате изучения данной дисциплины студент должен:

– знать: отличительные особенности урбоэкосистем; функциональные зоны города и их экологические характеристики; вопросы нормирования основных сред жизни в условиях города; антропогенные изменения основных сред жизни в условиях городской среды, пути их восстановления; экологические проблемы городов Беларуси и пути их решения;

– уметь: применять методы оценки качества городской среды на практике; рассчитывать индекс загрязнения атмосферы, индекс загрязнения вод; определять уровень шумового загрязнения по потоку автотранспорта в условиях города; оценить уровень нагрузки на очистные сооружения города по гидробиологическим показателям;

– владеть: терминологическим аппаратом; основными подходами оценки качества городской среды; системным и сравнительным анализом; исследовательскими навыками; междисциплинарным подходом при решении проблем.

Данное издание предназначено в качестве учебного для студентов дневной и заочной форм обучения биологических специальностей университета.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## МОДУЛЬ 1

### Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ. ГОРОД КАК УРБОЭКОСИСТЕМА

1. *Среда жизни человека. Понятие «городская среда».*
2. *Урбанизация как мощный экологический фактор.*
3. *Город как урбоэкосистема. Своеобразие урбоэкосистем.*
4. *Особенности экологии городской среды в историческом аспекте.*
5. *Урбоэкологическое зонирование региона и агломерации.*
6. *Пути устойчивого развития городской среды.*

**1. Среда жизни человека. Понятие «Городская среда».** Окружающая человека среда по Н.Ф. Реймерсу (1994) состоит из четырех взаимосвязанных компонентов-подсистем:

1. собственно природной среды,
2. порожденной агротехнической среды - «второй природы»,
3. искусственной среды – «третьей природы»,
4. социальной среды.

*Природная среда, окружающая человека* – факторы чисто естественно-го или природно-антропогенного происхождения прямо или косвенно воздействующие на человека. К этим факторам относят энергетическое состояние среды (тепловое и волновое, включая магнитное и гравитационное поля); химический и динамический характер атмосферы; водный компонент, биологическая часть экологических систем (растительность, животный мир), плотность населения и взаимовлияние самих людей как биологический фактор.

*Среда «второй природы», или квазиприродная среда* – все модификации природной среды, искусственно преобразованные людьми и характеризующиеся свойством отсутствия системного самоподдержания (пахотные земли, культурные ландшафты, грунтовые дороги, внешнее пространство населенных мест, зеленые насаждения). Все эти образования представляют собой видоизмененную природную среду и не являются чисто искусственными.

*«Третья природа» или артеприродная среда* - весь искусственный мир, созданный человеком, не имеющий аналогов в естественной природе и без непрерывного обновления немедленно начинающий разрушаться. Например: асфальт и бетон современных городов, внутреннее пространство мест жизни и работы, транспортные объекты, технологическое оборудование, синтетические материалы и т.д.

*Социальная среда* – культурно-психологический климат социальных групп и человечества в целом, создаваемый самими людьми и слагающийся из влияния людей как социально-биологических существ друг на друга.

Социальная среда интегрируется с природной, квазиприродной и артеприродной средами в общую совокупность окружающей человека среды. Все факторы каждой из рассматриваемых сред взаимосвязаны между собой и определяют качество среды жизни.

**2. Урбанизация как мощный экологический фактор.** *Урбанизацией* (от лат. Urbs - город) называется рост городов, повышение удельного веса городского населения, возникновение и развитие все более сложных сетей и систем городов. Общие черты урбанизации, характерные для большинства стран: быстрые темпы роста городского населения, особенно в менее развитых странах; концентрация населения и хозяйства в основном в больших городах; «расползание» городов, расширение их территории. Это происходит тогда, когда вокруг крупных городов возникают пояса городов – спутников. Такие образования называются *городскими агломерациями*. Агломерация в пределах страны или региона характеризуется функциональными связями, сформировавшимися в результате производственной деятельности и производственных отношений. *Конурбация* - группа близко расположенных и экономически связанных между собой городов. Примерами конурбаций являются Большой Лондон; Большая Москва.

Следует отметить, что агломерации являются важным, но промежуточным этапом в пространственной эволюции урбанизации. Их скопления, территориально сближаясь, образуют в развитых или плотно заселенных странах обширные наагломерационные системы – урбанизированные районы, урбанизированные зоны, мегалополисы. Формирование этих систем – одна из наиболее важных особенностей территориально-урбанистического развития современного мира. Темпы урбанизации зависят от уровня экономического развития страны. В развивающихся странах урбанизация растет вширь, а городское население быстро увеличивается. Это явление получило название городского взрыва и является неконтролируемым. Рост населения городов в этих регионах намного опережает их реальное развитие. В большинстве экономически развитых странах, где урбанизация достигла достаточно высокого уровня, процесс взят под контроль, и доля городского населения не увеличивается, а даже немного уменьшается. Но урбанизация продолжает расти внутрь, приобретая новые формы. Процесс урбанизации стабилизируют два направления: субурбанизация и джентрификация. Но они оказывают различное влияние на городскую среду.

*Субурбанизация* – развитие пригородов. Первоначально она проявляется в возникновении вокруг крупных городов пригородов. В итоге формируются городские агломерации. Затем начинается более быстрое развитие пригородов (прежде всего демографическое) по сравнению с центральным городом. Наконец, пригороды начинают развиваться за счет центрального города: идет интенсивное переселение в пригородную зону жителей из центрального города, перенос туда промышленных и других функций. Численность населения в центральных районах постепенно сокращается. За субур-

банизацией населения следует субурбанизация промышленности и других сфер занятости. Процесс субурбанизации имеет как положительное, так и отрицательное значение. Положительные черты заключаются в выносе крупных промышленных предприятий за черту города, что способствует снижению количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города. Отрицательное влияние проявляется в интенсивном развитии «челночного» автотранспорта, доставляющего жителей пригородных территорий к местам работы в центр города, что приводит к увеличению выбросов выхлопных газов.

*Джентрификация* – ключевой процесс современной внутригородской динамики населения, предполагающий возвращение богатых людей в большие города. По своей сути означает явление, противоположенное субурбанизации: строительство элитного жилья и офисов в престижных районах города. Отрицательные последствия данного процесса для городской среды: бесконтрольная реконструкция центральной части городов, ограничивающаяся застройкой еще свободной территории без сопутствующего сноса ветхого жилья на сопредельных участках. При этом под строительство отводятся лучшие участки вблизи рек, местных водоемов, парков, лесных массивов.

Наряду с ростом населения мира, урбанизация являлась доминирующей тенденцией развития человечества в XX веке. Массовая урбанизация – это феномен XX в.: до 1900 г. в городах жило всего около 14 % населения. В настоящее время процент городского населения в отдельных странах равен: Аргентина – 83, Уругвай – 82, Австралия – 75, США – 80, Япония – 76, Германия – 90, Швеция – 83. Помимо крупных городов-миллионеров быстро растут городские агломерации или слившиеся города. В значительной мере рост городов характерен и для стран третьего мира. Таким образом, городская среда превращается в преобладающий тип среды жизнедеятельности. Социально-экономическая обстановка привела к неуправляемости процесса урбанизации во многих странах.

*Урбанистическая система* (урбанизированная среда обитания) – неустойчивая природно-антропогенная система, состоящая из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных экосистем (Реймерс, 1990). Среда урбасистем сильно изменена и по сути дела стала искусственной, здесь возникают проблемы утилизации и реутилизации вовлекаемых в оборот природных ресурсов, загрязнения и очистки окружающей среды, происходит все большая изоляция хозяйственно-производственных циклов от природного обмена и потока энергии в природных экосистемах. Города являются также центрами, влияющими на антропогенную трансформацию прилегающих территорий вокруг города и вдоль крупнейших транспортных магистралей. Степень и характер влияния городов на природные экосистемы зависят от многих факторов: численности и плотности городского населения; его экономического положения; от специфики промышленных предприятий; типа застройки; а также от климата и географического положения. Индикатором качества городской среды в первую очередь является здоровье человека.

**3. Город как урбозкосистема. Своеобразие урбозкосистем.** Ю. Одум (1986) предложил классификацию экосистем, опираясь на их энергетические особенности, выделив «четыре функциональных типа экосистем»:

1. Природные: движимые Солнцем, несубсидируемые (океаны, высокогорные леса).

2. Природные, движимые Солнцем, субсидируемые другими природными источниками (речные экосистемы – субсидируемые энергией течений).

3. Движимые солнцем и субсидируемые человеком (агроекосистемы).

4. Индустриально-городские, движимые топливом. По сравнению с потоком энергии в природных экосистемах, здесь ее расход на 2–3 порядка выше.

Данная классификация, основанная на свойствах среды, принципиально отличается от биомной, основанной на структуре экосистем.

**Основные отличительные черты городской экосистемы:**

**1). Имеются определенные особенности в функции трофических уровней в городе.** Автотрофная составляющая, т.е. городской «зеленый пояс» имеет, в основном, эстетическую, рекреационную ценность. Более половины годичного прироста автотрофов в виде древесины, листьев и срезанной травы вывозится на свалки. Гетеротрофная составляющая городских экосистем обеднена (снижено видовое разнообразие). Характерно формирование синантропных и эвритропных экосистем.

**2). Город – зависимая экосистема,** полностью зависящая от окружения. Города используют в огромном количестве энергию топлива, добываемого как правило не на месте. Город не обеспечен и кислородом: он живет за счет ресурсов окружающей атмосферы. Например, в среднем город потребляет 30 млн.т кислорода, производя 25–30 тыс. т (дефицит 29,7 млн.т, для покрытия которого требуется озелененная территория 5000–6000 тыс. га). Город выкачивает грунтовые воды или же снабжается водой из ближайших водоемов. Если сравнить «импорт» и «экспорт» основных пищевых продуктов, строительных материалов, промышленного сырья и топлива в больших городах, то «импорт» превышает «экспорт» в среднем в 10 раз. Территория, обеспечивающая минимально необходимые потребности миллионного города в воздухе в 20, а в воде, пище и рекреации в 10 раз превышает территорию самого города.

**3). Город отличается от природных экосистем интенсивным расходом энергии на единицу площади.** Потребность в энергии плотно населенных индустриально-городских районов на 2–3 порядка выше потока энергии, поддерживающего жизнь в естественных экосистемах, субсидируемых Солнцем. Для этого требуется большой приток концентрированной энергии извне (главным образом за счет сжигания ископаемого топлива). Солнечная энергия не только не используется, но и становится дорогостоящей помехой, нагревая бетон, асфальт и другие искусственные поверхности.



**4). Город – аккумулярующая система.** Помимо потребления природных ресурсов и энергии города производят огромное количество отходов. Часть веществ оседает в водоемах, отлагается в почве, создаются даже новые положительные формы рельефа из отбросов. Ежегодно городом-миллионером производится и в основном накапливается на окружающих территориях около 3,5 млн. т твердых и концентрированных отходов примерно следующего состава (тыс. т): зола и шлаки теплоэлектростанций – 550; твердые остатки из общей канализации – 420; древесные отходы – 400; твердые бытовые отходы – 350; строительный мусор – 50; автопокрышки – 12; бумага – 9; текстиль – 8; стекломой – 3. В природе также имеются некоторые аккумулярующие экосистемы, но в них отлагается более однообразный и малоактивный материал: в озерах – сапропель, в болотах – торф, в долинах рек – нанос паводков.

**5). Город – неравновесная экосистема.** На его территории нарушен равновесный экологический баланс. В отличие от природных экосистем развитие города определяется не естественным отбором и другими природными процессами, а деятельностью человека. За счет концентрации людей в городе отношение фитомассы к зоомассе иное, чем в естественной природе. Пищевые цепи нарушены. Процессы потребления ресурсов и выделения отходов сильно отличаются от круговорота веществ в природе.

**6). Город – конгломерат искусственных экологических микросистем: зданий и сооружений жилой, промышленной и коммунально-складской застройки.**

Естественные и городские экосистемы наряду с глубокими экологическими различиями имеют и некоторые общие черты, например наличие границ, самоподдержание за счет обмена веществ и притока энергии, стабилизация за счет круговорота энергии и тенденция перехода от экспансии к интенсивному росту (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнение природных и городских экосистем

Признак	Природная экосистема	Урбозекосистема
Абиотические компоненты	Неорганические и органические вещества, климат, почва, воды	Антропогенное изменение исходных и появление новых компонентов
Биотические компоненты		
Продуценты	Превращают достаточное количество солнечной энергии в химическую энергию фотосинтезированного вещества.	Как правило, небольшой по объему декоративный компонент. Для питания консументов необходимо поступление связанной в веществе энергии из-за пределов системы.
Макроконсументы	Соответствуют принципу пирамиды масс	Резко преобладают; доминируют человек, немногие виды домашних и диких животных.

Микроконсументы	В состоянии минерализовать все мертвое органическое вещество.	Играют небольшую роль ввиду огромной массы отходов, которые должны транспортироваться за пределы системы и там перерабатываться.
Поток энергии	Каскадоподобный поток энергии, поступающей преимущественно от Солнца.	Солнечной энергии достаточно, приток энергии из вне.
Круговорот веществ	Замкнутый, объем внутреннего круговорота больше обмена с окружением системы.	Разорванный, объем внутреннего круговорота веществ меньше обмена с окружением. Поступление биомассы для поддержания макроконсументов из-за пределов экосистемы.
Продуктивность	В начале сукцессии высокая, затем снижается до сравнительно низкого уровня (климакс).	Незначительная, подчинена потребностям человека.
Стабильность	Сравнительно высокая, динамическое равновесие.	Низкая, система постоянно подвергается различным антропогенным нарушениям.
Способность к регуляции	Саморегуляция	Почти отсутствует, человек должен выполнять регуляторную функцию, дополнительно затрачивая вещество и энергию.
Пищевые цепи	В виде многозвенных биоценологических коннексов.	В значительной степени случайные, обычно короткие.

**4. Особенности экологии городской среды в историческом аспекте.** Рассмотрим формирование городов и городской среды с учетом изменений их экологии и условий для жизнедеятельности людей. Около 1,9 млн. лет назад люди стали строить первые жилища – хижины-шалаша, каркас которых составляли ветки и длинные кости убитых животных, накрытые настилом из травы и листьев. Основу существования человеческого общества в палеолите составляла охота на крупных животных и собирательство. Отходы жизнедеятельности первобытных охотников-собирателей быстро утилизировались природой. Целенаправленная деятельность древних охотников и собирателей сказывалась на флоре и фауне мест их обитания. Научные исследования палеонтологов свидетельствуют, что следствием расселения древнего человека на Земле можно считать исчезновение десятков видов в Европе и Америке. На смену пришла аграрная культура, которая охватывает эпоху с момента появления сельского хозяйства (8 тыс. лет до н.э.) вплоть до возникновения промышленного производства (середина 18 в. н.э.).

**Города древнего мира и средневековья.** Первые поселения возникли на Земле, вероятно, 10–12 тысяч лет тому назад, когда земледелие стало превращаться в одно из важнейших занятий человека. Эти поселения

насчитывали не более 100–150 человек и были достаточно отдалены друг от друга. Примерно в радиусе 3–4 км от поселения природный ландшафт подвергался довольно сильной деформации - естественный биогеоэкологический покров постепенно преобразовывался в агроценозы (обрабатываемые поля, огороды и т.д.). Площадь обрабатываемых участков была невелика, ближайшее окружение поселения представляло собой мозаику преобразованных и естественных ландшафтов, обладая еще очень высоким экологическим потенциалом. В радиусе до 10–15 км ландшафт был еще менее преобразован человеком, который использовал его как охотничьи угодья и естественную кладовую (сбор ягод, грибов, орехов, меда и т.д.). В целом человек верхнего неолита в силу своей малочисленности (считают, что население Земли в то время не превышало 1–1,5 млн. чел.) и сравнительно невысокого удельного давления на природу хорошо «вписывался» в биотический круговорот, хотя первый антропогенный экологический кризис, вызванный перепромыслом крупных животных (кризис консументов), пришелся именно на это время.

Важнейшим фактором, появившимся в связи с развитием земледелия и оказавшим серьезное воздействие на состояние здоровья людей, стало повышение плотности населения, что привело к распространению различных инфекционных заболеваний. Жизнь людей в поселках привела к ухудшению санитарного состояния населения. Вокруг поселений стали скапливаться отбросы, нечистоты, происходило загрязнение почвы и водоемов, что способствовало распространению возбудителей инфекции. Экологические последствия древних поселений на природу: органическое истощение почв в результате выращивания сельскохозяйственных культур, вырубка лесов при заготовке древесины, перевыпас домашних животных, приводившие к эрозии почв.

Возникновение городов и организаций городской среды относят к рубежу 4-3-го тысячелетий до н.э. В начале 7-го тысячелетия до н.э. был сооружен первый из известных городов - Иерихон. Начиная с середины 4-го тысячелетия до н.э. на Ближнем востоке, в Междуречье и Египте города стали объединяться и образовываться государства. Первые городские поселения базировались на сельском хозяйстве.

Образование городов вело к концентрации населения, организации систем снабжения продовольствием и коммуникаций, концентрации экономической жизни и культуры, к расширению пашни и сокращению лесных массивов, снижению численности видового разнообразия. С образованием городов была связана вырубка леса и сведение растительности на больших территориях, расширение зон выпаса скота. Жители Вавилона употребляли преимущественно растительную пищу. Мясо заменяла рыба, которую местные жители ловили в городских каналах.

Расцвет рабовладельческого строя стал одновременно и порой расцвета городов древнего мира, достигших внушительных размеров. Так,

например, Вавилон (Ассирия) и Мемфис (Египет) насчитывали по 80 тысяч, Афины в период правления Перикла – 300 тысяч, Карфаген – 600 тысяч, а Рим эпохи Августа Октавиана – даже 1 млн. жителей. Древние города за небольшим исключением отличались скученностью населения, низким уровнем благоустройства. Плотность населения в Александрии времен царицы Клеопатры достигала 760 чел./га, в Риме при императоре Августе составляла 1500 чел./га (этот показатель у современных Лондона, Токио и Нью-Йорка составляет соответственно 700, 920 и 1000 человек на 1 гектар), ширина улиц не превышала 1,5 - 4 метров. Большое движение на узких улицах (всадники, колесницы) создавало непрерывный шум.

Давление на природу, окружавшую города, вследствие более интенсивных, чем ранее, земледелия и животноводства резко возросло - мозаичные ландшафты в пригородах уступали место монокультурам, эрозия почв стала обычным явлением. Богатая на грабежах и войнах, забирая с огромных территорий продукты питания, ткани, кожу, предметы роскоши, города становились не только социальными, но и экологическими паразитами. Так, Древний Рим забирал воду из всех окрестных источников в радиусе до 100 км. На каждого жителя центральной части Рима расходовалось огромное количество воды – свыше 1000 л в сутки (это в 2–3 раза превосходит водопотребление современных западноевропейских столиц).

Не вполне здоровыми были и оживленные густонаселенные районы Древнего Рима, располагавшиеся в сырых, плохо проветриваемых низинах, называвшихся Клоакой. В последующие эпохи это имя стало нарицательным. Все это нередко приводило к вспышкам эпидемий. Так, первая пандемия чумы, вошедшая в литературу под названием «Юстиниановой чумы», возникла в VI веке в Восточной Римской империи и охватила многие страны мира. За 50 лет эта чума унесла около 100 млн. человеческих жизней (почти одну треть населения древнего мира).

Уже в древнюю эпоху у многих философов и других ученых древности возникают сомнения относительно целесообразности общественного и функционального устройства современных им городов. Платон, Аристотель, Гипподам Милетский, Гиппократ, Витрувий и другие мыслители выступали с трактатами, в которых рассматривались вопросы оптимального размера поселений и их общественного устройства, гигиены поселений и их благоустройства, планировки городов и многообразные проблемы строительного искусства и архитектуры.

*В эпоху античности* (8 в до н.э.) происходят заметные изменения в природе в результате давления со стороны общества: активно осваивается побережье Средиземного моря, идет сильная вырубка лесов и выпас скота на слонах Балканских гор, что приводит к интенсивной эрозии почв. В эту эпоху начался процесс добычи полезных ископаемых (руд металлов), что привело к серьезным нарушениям окружавших города ландшафтов.

В средневековье вместе с пришедшим на смену рабовладельческому строю феодализмом зародился новый тип города – город-крепость, окруженный мощными оборонительными сооружениями. Средневековые города, как правило, уступали по размерам поселениям древнего мира и редко насчитывали более нескольких десятков тысяч жителей. Численность населения наиболее крупных из них, например Лондона и Парижа, достигала в XIV веке соответственно 100 тысяч и 30 тысяч жителей. В этот период наблюдалась значительная нехватка пищевых ресурсов, качество питания было весьма низким, велики были показатели смертности от голода. Это связано с постоянными войнами, эпидемиями, частыми неурожаями. Главной угрозой для жителей оставались эпидемии. Вторая пандемия чумы – «черная смерть», вспыхнувшая в XIV веке, унесла, например, почти треть населения Европы. Полное отсутствие благоустройства в средневековых городах приводило и к трагедиям иного рода – известно, например, что в одном из европейских городов прямо на улице утонул некий феодал, на земле которого стоял город.

В эпоху средневековья более интенсивно стали развиваться города. Площадь городов обычно была невелика, но в них на сравнительно малой площади было сконцентрировано большое количество людей. Так, плотность населения в старинных кварталах Алжира, была выше плотности населения в старых районах современного Дели – 200 и 150 тыс. человек на км<sup>2</sup>. Средневековые города отличались крайне неблагоприятной для жизни и здоровья людей обстановкой. Несовершенство системы вывода отходов производства и нечистот (иногда ее полное отсутствие), недостаток чистой питьевой воды, высокая плотность заселения (особенно в бедных кварталах) – все это способствовало развитию массовых эпидемий холеры, брюшного тифа, чумы и др. В эпоху средневековья стали появляться первые законодательные акты, направленные на охрану окружающей среды.

*Эпоха Возрождения* ознаменовалась значительным развитием градостроительных идей – прежде всего, появлением большого числа градостроительных утопий – «идеальных» городов Т. Кампанеллы, Т. Мора, Филарете и других авторов. Схематизм этих городов, их подчеркнутая геометричность – своеобразный протест человека Возрождения против архаичных, некомфортных и хаотично развивающихся городов средневековья. Были среди предложений той эпохи и созвучные нашему времени идеи. Так, например, Л.Б. Альберти признавал чрезвычайную сложность и неоднозначность градостроительных проблем, что, бесспорно, отличало его взгляды от многочисленных урбанистов-утопистов того времени.

**Города абсолютизма и индустриальной эпохи.** В XVII-XVIII веках значительное развитие получила так называемая регулярная планировка городов, характеризующаяся геометрически правильным рисунком кварталов, особенно садово-парковое искусство. Огромные, созданные руками

человека парковые ансамбли Рима, Версаля, Петергофа и других резиденций королей и императоров становятся не только местом отдыха и увеселений, но и важными элементами пригородной «экологической архитектуры». Вместе с развитием архитектуры росло и население, в первую очередь городов, бывших важными административными и хозяйственными центрами. Особое значение стала приобретать охрана лесов от незаконной вырубке на пригородных территориях. Оживляется законодательная деятельность, направленная на упорядочение природопользования. Соответствующие указы появились и в России. Уже в то время пахотные и выгонные земли прирезались к городам в соответствии с числом их жителей, принималось во внимание количество лесов в той или иной округе, необходимых для строительства новых городов, регламентировалась охота, устанавливались места рыбной ловли. Одновременно определялись качество и количество земли в уездах, число сел и деревень около городов. Все это, тем не менее, не могло существенно оздоровить городскую среду. Санитарное состояние городов оставалось по-прежнему неудовлетворительным. Эпидемии чумы, холеры, других опасных болезней в то время не были редкостью.

Наступление индустриальной эпохи – вторая половина XVIII в. Быстро развивается крупная машинная индустрия, в связи с чем наблюдается резкое увеличение промышленного и сельскохозяйственного производства. Стремительно растущие города быстро превосходили по величине своих предшественников. К 1800 г. миллионный рубеж перешагнул Лондон, к 1850 г. – Париж; к началу XX в. в мире было уже 12 миллионеров (в том числе – С.-Петербург и Москва).

В XIX в. существенно возрос объем выработки ряда полезных ископаемых, прежде всего железной руды и угля, начинает развиваться добыча нефти и газа, растет добыча цветных металлов. Характерной чертой этого времени являются рост числа городов, их укрупнение, а также повышение концентрации в них населения. Многие новые города образуются в это время вокруг промышленных предприятий, превращаясь в последствии в крупные промышленные центры. Продолжается развитие городской инфраструктуры, совершенствование систем удаления отходов. Развивается система транспортных коммуникаций; строятся дороги, мосты. В окрестностях городов осуществляется вырубке лесов. Значительную проблему для городского населения в то время стали представлять разнообразные вирусные инфекции (грипп), широкое распространение получил сифилис, холера, брюшной тиф, туберкулез. В XX в. успехи медицины, биологии, химии способствовали повышению устойчивости ко многим инфекционным заболеваниям. Однако, в современном городе на первый план выдвигаются неинфекционные болезни:

– заболевания нервной системы, причиной которой становятся длительные стрессы;

– онкологические заболевания, возникающие вследствие воздействия на человека веществ и излучений преимущественно промышленного происхождения;

– заболевания сердечно-сосудистой системы, провоцируемые неправильным рационом питания.

Общая тенденция развития и роста городов – прогрессирующее ухудшение в них условий жизни. Одна из величайших трагедий городов в том, что, будучи высшим достижением человеческой цивилизации, они становятся не только неудобными, но и в значительной степени опасными для жизни, даже для жизни будущих поколений. Групповые формы расселения XX–XXI вв. характеризуются большей глубиной изменений в природной среде, распространением и концентрацией антропогенных нагрузок на обширных территориях. Экологическое неблагополучие городов стало острой глобальной проблемой современности.

Развитие городов в XXI столетии.

Теоретические исследования, основанные на расчетах и моделировании, реалии наших дней, наблюдаемые на различных континентах планеты, позволяют утверждать, что процессы концентрации людей в городах в ближайшие десятилетия будут неизбежно усиливаться. По данным ЮНЕСКО, в развивающихся странах в города ежегодно переселяется более 80 млн. человек. Это естественное явление, следствие развития нашей цивилизации, эволюции человека. Процесс концентрации людей происходит во всех сферах их деятельности в силу экономической целесообразности. Города всегда были центрами культурной деятельности, источником новых идей и технологий, которые улучшали и удешевляли жизнь населения. Крупные города стремительно растут, поглощая окрестные городки и села. Далее крупные городские агломерации сливаются друг с другом, образуя мегаполисы. И сегодня такие мегаполисы, в которых проживают многие миллионы людей (10–20 млн. и более), образовались на всех континентах планеты – Калькутта, Лос-Анджелес, Мехико, Москва, Нью-Йорк, Пекин, Токио, городские агломерации промышленных районов Западной Европы, юго-восточной Украины (Донбасс). Сегодня в мире насчитывается более 170 городов-миллионеров.

Расселение людей становится неравномерным и приобретает неустойчивый характер. Прогнозируется дальнейшее постепенное угасание малых городов. Это связано с принципиальными техническими изменениями и структурной перестройкой промышленности во всем мире. Роль добывающей промышленности, металлургического производства постепенно уменьшается, развиваются новые высокотехнологические производства. В крупных городах людям выгоднее и проще организовать производство, торговлю, легче получить работу, образование, интересней и разнообразней проводить досуг. То есть экономически и сегодня, и в ближайшие

десятилетия большие города как форма организации общества более эффективны, здесь выше общественная производительность труда. Таким образом, в будущем рост мегалополисов неизбежен.

Анализ положительного опыта улучшения экологических ситуаций в городах разных стран мира, полученного за последнее десятилетие, позволяет сделать следующие обобщения о возможных путях экологизации урбанизационных процессов в XXI веке.

**Первое** направление – это осуществление ряда мероприятий, связанных с экологизацией энергетики, промышленности и транспорта в существующих городах, без перепланировки, реконструкции городов. **Второе** направление – это реконструкция структуры старых городов и строительство новых с учетом современных экологических нормативов и стандартов. **Третье** – реализация комплексной национальной и глобальной социально-экономической политики поэтапного ослабления развития гиперурбанизации и его пагубного воздействия на биосферу.

Один из вариантов успешно осуществляемой экологизации мегалополисов – установление ограничителей роста городов в виде зеленых поясов. Вокруг существующего города создается (восстанавливается, укрепляется) плотное кольцо зеленых насаждений (лесопарковая зона шириной до нескольких километров). При этом создаются отдельные островки-поселения (жилые, торговые, спортивные и др. центры) по периметру вокруг зеленой зоны, которые соединяются с центром мегалополиса специальными транспортными магистралями.

Еще один подход – пакетная (кластерная) застройка ландшафта, когда территория используется под застройку не полностью, а участками (застраиваются менее экологически значимые участки), с консервацией островков зелени, с сохранением ручейков, речушек.

Одним из перспективных направлений безусловно считается сохранение, обновление, резервация и основание внутри мегалополисов крупных и важных с экологической точки зрения зон (зеленых территорий, ландшафтов, водопарков). В городах, не имевших возможности закладки больших зеленых массивов на начальных стадиях своего развития, используются другие методы, например создание множества малых парков и сквериков в различных районах мегалополисов на месте сносимых трущоб, улиц, других объектов.

**5. Урбоэкологическое зонирование региона и агломерации.** Экологическое равновесие может быть достигнуто только на обширных территориях, поскольку плотно застроенный город не в состоянии обеспечить воспроизводство основных природных ресурсов. *Экологическое равновесие* в градостроительстве определяют как состояние природно-антропогенной среды, при котором обеспечивается ее длительная устойчивость. При этом не нарушаются условия репродуктивности основных абиотических



элементов геосферы: воздуха, воды и почв. Возможна сукцессия биотических компонентов биосферы: флоры и фауны. Критерием экологического равновесия является экологическая емкость территории, т.е. способность поглощать посторонние вещества и энергию без существенного изменения параметров окружающей среды. Одним из факторов, положенных в основу градации антропо-природных систем, принята плотность населения. Различают три уровня: полного, условного и относительного равновесия.

*Полное экологическое равновесие* применительно к средней полосе России обеспечивается на территориях с плотностью населения не более 60 чел./км<sup>2</sup>. Считается, что в системе расселения с такой плотностью обеспечивается достаточно сбалансированное соотношение между природой, урбанизированной средой и техникой. Однако влияют и другие факторы, например климат, гидрологическая и биосферная ситуации. Так, при указанной выше плотности леса должны занимать не менее 30% площади.

*Условное экологическое равновесие* создается, когда природные ресурсы естественно воспроизводятся, но не в полной мере. Это характерно для урбанизированных территорий с плотностью населения не выше 100 чел./км<sup>2</sup> и лесистостью 20—30%.

*Относительного экологического равновесия* в средней полосе страны можно достигнуть в тех случаях, когда урбанизированная территория оказывается нагруженной в пределах допустимых воздействий, но полное воспроизводство компонентов природной среды не обеспечивается. Тогда геохимическое и биохимическое равновесие частично нарушается, поскольку ландшафты не способны полностью нейтрализовать загрязнение среды. Однако она не деградирует. Сохраняется устойчивое взаимодействие элементов экосистемы.

Охраняемые природные заповедники и лесные массивы, почво- и водоохранные зоны создают не только для сохранения ценных ландшафтов, редких видов флоры и фауны. Они приобретают новую функцию – противовеса негативному воздействию индустриализации. На степень экологического равновесия влияет соотношение зон с различными экологическими и хозяйственными режимами. Пространственные системы расселения в крупных регионах необходимо организовывать с учетом взаимодействия урбанизированных и природных структур. С экологических позиций регион можно представить как *биоэкономическую территориальную систему* (БТС), в которой целесообразно выделить три урбоэкологические зоны: хозяйственной активности, экологического равновесия и буферную.

*Зоны наибольшей хозяйственной активности* объединяют системы расселения с крупными городами – центрами регионов, агломераций и местных планировочных образований (Рис. 1). Это наиболее плотно заселенные территории и поэтому техногенное воздействие на природу здесь велико.

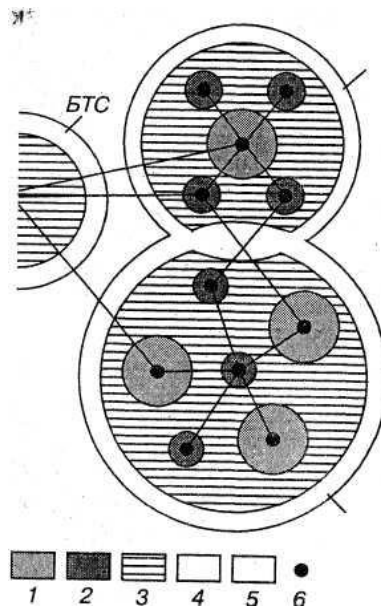


Рисунок 1 – Схема экологического каркаса пространственной организации расселения

*Примечание:* 1 – зона наибольшей хозяйственной активности; 2 – то же, ограниченного развития; 3 – то же, экологического равновесия; 4 – буферная зона; 5 – компенсационная зона; 6 – города, центры планировочных образований; БТС – биоэкологическая территориальная система.

Помимо промышленности эти районы могут включать зоны с интенсивным сельским хозяйством или предприятиями добывающей промышленности. Режим использования земель в таких зонах может быть определен в зависимости от функций градообразующей базы. Исходя из совокупности социальных и экономических потребностей региона расчетным путем можно установить ресурсопотребление. Выделить не только зоны наибольшей активности, но и *зоны ограниченного развития*.

*Зоны экологического равновесия.* Здесь сохраняют ландшафты, необходимые для воспроизводства природных ресурсов. Проводят мероприятия по защите окружающей среды, сохранению водного баланса, чистоты рек и других открытых водоемов. Ограничивают промышленное использование земель, запрещают хозяйственную вырубку лесов, поддерживают лесистость в пределах 40–50%. Размеры зон экологического равновесия определяют расчетом. При этом решают задачу устойчивости природно-антропогенной системы по критерию ее функционального развития.

*Буферные зоны* несут функции компенсации экологической неполноценности региональных систем расселения в наиболее заселенных районах страны. Они также обеспечивают экологическое равновесие в перспективе при дальнейшем хозяйственном развитии регионов. Буферные зоны увязывают с внешними границами БТС, а ширину назначают в пределах 100–150 км. Стремятся установить хозяйственно-экономический режим по аналогии с зонами экологического равновесия.

*Компенсационные зоны* призваны возмещать изъятие системами расселения природных ресурсов в масштабе страны. Для этой цели используют наименее освоенные территории, как правило, обладающие значительным экологическим потенциалом.

**6. Пути устойчивого развития городской среды.** Устойчивое развитие городских поселений - это развитие территорий и поселений при осуществлении градостроительной деятельности в целях обеспечения градостроительными средствами благоприятных условий проживания населения, в том числе ограничения вредного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и ее рациональное использование в интересах настоящего и будущего поколений.

Устойчивое развитие городов предполагает решение социально-экономических задач общества и в первую очередь обеспечение населения жильем и продовольствием. Создание благоприятных условий жилой среды предполагает прежде всего эффективное функционирование систем жизнеобеспечения города.

Концепция устойчивого развития городских поселений была разработана в 1990-х гг. в соответствии с глобальной стратегией устойчивого развития общества, принятой на «Саммите Земли в Рио-де-Жанейро в 1992 г. («Повестка дня на XXI век»).

Цели, принципы и направления устойчивого развития городских поселений определяют и регламентируют:

- Стамбульская декларация по поселениям и «Повестка дня «Habitat-II»», принятая на Международной конференции ООН по устойчивому развитию поселений «Habitat-II»» (Стамбул, 1996);
- Руководящие принципы планирования устойчивого развития поселений ЕЭК ООН (1996);
- Градостроительная хартия Содружества Независимых Государств (Минск, 1999);
- Берлинская декларация о будущем городов (Берлин, 2000).

Основными целями устойчивого развития городских поселений являются:

- достойное жилище;
- здоровье и активное долголетие;
- приносящая удовлетворение и дающая достаточный заработок работа;
- здоровая и безопасная окружающая среда;
- личная и имущественная безопасность;
- социальная стабильность, жизнь в окружении друзей, родственников и соседей;
- удобная доступность объектов городской инфраструктуры;
- сохранение памятников истории и культуры;

- высокий архитектурно-художественный уровень застройки поселений.

Для обеспечения жизнедеятельности городских поселений в концепции устойчивого развития предусмотрено:

- комплексное развитие городов во взаимодействии с другими городами и поселениями;
- совершенствование систем социальной инфраструктуры;
- формирование экологически безопасных производственной, транспортной и инженерно-технической инфраструктур;
- организация мест отдыха и оздоровления населения;
- сохранение и возрождение историко-культурного наследия.

Формирование городской среды в аспекте ее устойчивого развития осуществляется в процессе градостроительной деятельности с учетом экологических приоритетов (градоэкологическая организация среды). С этой целью определяется уровень экологического благополучия городской среды – показатель состояния экосистемы, характеризующий устойчивое воспроизведение ее основных звеньев.

Экологическое благополучие населения города определяется его уровнем жизни, обусловленным экономическими факторами. Основными показателями уровня жизни являются: среднемесячный, среднедушевой доход, соотношение среднедушевого дохода наиболее малообеспеченных и наиболее высокообеспеченных слоев населения, стабилизация безработицы, отношение расходов на социальные программы к валовому внутреннему продукту (ВВП).

## **Лекция 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ГОРОДАХ**

- 1. Водные объекты в условиях городской среды.*
- 2. Водоснабжение городов.*
- 3. Зонирование территории водных объектов.*
- 4. Требования к качеству воды и водоподготовка.*
- 5. Системы водоотведения и очистки сточных вод в городах. Работа общегородских очистных сооружений.*
- 6. Очистные сооружения небольших населенных пунктов. Поля фильтрации, инфильтрационное биоплато.*
- 7. Охрана и регулирование качества вод.*

**1. Водные объекты в условиях городской среды.** К водным объектам, расположенным в городской среде, относятся водотоки, водоемы и подземные воды. Водотоки подразделяются на реки, каналы и ручьи; водоемы – на озера, водохранилища и пруды; подземные воды образуют

в пространстве бассейны и месторождения. Подземные воды, самоизливающиеся на поверхность, называются родниками (источниками).

Функции водных объектов в городах: градостроительная (вдоль них и вокруг формируются жилые кварталы, строится ориентация улиц и проездов); эстетическая; рекреационная; транспортная; промысловая; хозяйственно-питьевая.

По функциональному назначению городские водоемы подразделяются на природные, природно-рекреационные, рекреационные, декоративные и технические (пруды-регуляторы, отстойники и др.).

Антропогенная нагрузка на водные системы в городской среде приводит к следующим последствиям:

- изменению гидрологического режима на территории города (спрямление естественных русел водотоков, устройство каналов, заключение малых рек в коллекторы и др.). Это приводит к подтоплению городских территорий, обмелению рек и озер, изменению направления грунтовых вод, нарушению естественного дренажа территории, эрозии берегов, исчезновению прибрежной растительности и т.д.;

- постоянное изъятие вод на коммунально-бытовые и промышленные нужды города изменяет водный баланс, гидрологический режим водоемов. Чрезмерная откачка подземных вод приводит к оседанию земной поверхности, образованию провалов и воронок;

- загрязнению поверхностных и подземных вод твердыми, плавающими, химическими, радиоактивными и другими веществами, а также физическими и биологическими загрязнителями.

Качество природных вод в стране в первую очередь связано со сбросами в них неочищенных или условно чистых сточных вод, поступлением ливневых и талых вод с урбанизированных территорий, сельскохозяйственных угодий и других источников загрязнения, не имеющих систем водоотведения и очистки.

Как показывают исследования, качество подземных вод большинства водоносных горизонтов и комплексов соответствует нормативным требованиям. Однако на участках размещения водозаборных скважин в селитебной зоне населенных пунктов и городов, ферм, в районе очистных сооружений, свалок, отвалов промышленных предприятий, прудов-отстойников выявлено загрязнение подземных вод. Ухудшение их качества выражается в увеличении общей минерализации, содержания соединений азота, хлоридов, тяжелых металлов; появлении нефтепродуктов, фенолов, неприятно пахнущих и легкоокисляемых органических веществ.

В Беларуси основными водопотребителями являются жилищно-коммунальное хозяйство и промышленность, причем на хозяйственно-бытовые нужды идет основная масса забираемой воды. Суммарный объем забора поверхностных и подземных вод по данным водного кадастра Беларуси составляет более 1,6 млрд м<sup>3</sup> (из поверхностных источников –

более 0,7 млрд м<sup>3</sup>, а из подземных – 0,9 млрд м<sup>3</sup>). Всеми отраслями экономики Беларуси используется более 1,4 млрд м<sup>3</sup> свежей воды. При этом на хозяйственно-питьевые нужды расходуется 34% от общего количества использованной воды, а на производственные – 30%. Удельное водопотребление в целом для страны в 2012 г. составило 392 л/сут/чел., при этом на хозяйственно-питьевые нужды использовано в среднем 143 л/сут/чел. (от 137 л/сут/чел. в Могилеве до 172 л/сут/чел. в Гродно). Самое высокое удельное водопотребление отмечается в Минске (184 л/сут/чел.).

**2. Водоснабжение городов.** Расход воды в городе не является постоянным, он меняется по сезонам года и в течение суток. Для обеспечения водопотребителей используются специальная система водоснабжения.

Система водоснабжения поселения (водопровод) – это комплекс инженерных сооружений, расположенных в определенном порядке по ходу подачи (течения) воды и предназначенных для обеспечения потребителей необходимым количеством воды требуемого качества.

Система водоснабжения должна обеспечить прием воды из источника, ее очистку в случае необходимости и передачу потребителю. С этой целью в систему водоснабжения входят: водоприемные сооружения, насосные станции, сооружения для очистки и обработки воды, резервуары и водонапорные башни, водоводы и водораспределительные сети.

Системы водоснабжения населенных пунктов классифицируются по ряду признаков.

1. По виду обслуживаемого объекта - коммунального, промышленного, сельскохозяйственного, железнодорожного, аэродромного водоснабжения и полевого водообеспечения.

2. По целевому назначению:

- хозяйственно-питьевые (хозяйственные), подающие воду для питьевых, санитарно-гигиенических и хозяйственных нужд;
- производственные (технические) для обеспечения технологических процессов производств, работы агрегатов и оборудования;
- противопожарные для обеспечения тушения возникающих пожаров.

3. В зависимости от размера населенного пункта и количества потребляемой ими воды – объединенные или отдельные. В тех населенных пунктах, где расходы воды невелики, как правило, организовывается объединенная система хозяйственного, технического и противопожарного водоснабжения.

4. По виду источника воды системы водоснабжения населенных пунктов подразделяются на системы с поверхностным и подземным источником.

Основными недостатками системы водоснабжения с поверхностным источником являются возможность и доступность для заражения (отравления), разрушения, утрата работоспособности в случае чрезвычайных ситуаций, террористических актов; повышенная строительная и эксплуатаци-

онная стоимость ввиду значительного количества технологических блоков, постоянной необходимости защиты и поддержания в рабочем состоянии этих блоков. Кроме того, существующие на урбанизированных территориях и в зоне их влияния поверхностные источники водоснабжения, как правило, не отвечают требованиям, предъявляемым к качеству поверхностных вод для водоснабжения. Эти воды подвергаются глубокой водоподготовке (очистке, обеззараживанию), что увеличивает затратность городского водоснабжения и, в ряде случаев, способствует вторичному загрязнению уже воды питьевого качества небезопасными органическими веществами.

Забор воды из поверхностных водных объектов осуществляется, как правило, для технического водоснабжения, полива городских территорий и пожаротушения. Забор воды для питьевых целей в основном производится из каналов или водохранилищ, специально предназначенных для питьевого водоснабжения, в которых другие виды водопользования запрещены. Технологическая схема системы с подземным источником водоснабжения значительно проще, обычно может не включать очистные сооружения, во многих случаях - водоподготовку.

5. По способу подачи воды - напорные или самотечные. Если источник воды выше потребителя с достаточным превышением высоты для создания необходимого напора воды в водопроводной сети, то применяется самотечная система, в противном случае - напорная. Наиболее просты в эксплуатации и экономичные самотечные системы, но они не позволяют осуществлять многотоннажное водоснабжение поселения из подземных источников.

6. По способу доставки и распределения воды - централизованным и децентрализованным, комбинированным. Централизованное водоснабжение предназначено для удовлетворения потребностей в воде от ее забора из источника до потребителя через распределительную систему трубопроводов. Децентрализованное водоснабжение предназначено для удовлетворения потребностей в воде без транспортировки по трубам. Децентрализованное водоснабжение является дополнением к централизованным системам водоснабжения городов и предлагает альтернативный источник качественной питьевой воды, что повышает устойчивость системы жизнеобеспечения в кризисных ситуациях.

Децентрализованные (местные) системы водоснабжения строятся для отдельных удаленных локальных потребителей (частные подворья, фермы и фермерские хозяйства, АЗС, кемпинги и т.д.) или группы зданий, а также к поселкам, намеченным к отселению.

**3. Зонирование территории водных объектов.** Важную защитную функцию на любом водном объекте выполняют водоохранные зоны и прибрежные полосы, которые устанавливаются вокруг водных объектов.

*Водоохранная зона* – это территория, прилегающая к руслам водотоков или водоемов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной деятельности для предотвращения загрязнения, засорения,

истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

*Прибрежная полоса* – часть водоохраной зоны, непосредственно примыкающая к водному объекту, на которой устанавливается более строгий режим хозяйственной деятельности по отношению к режиму хозяйственной деятельности, установленному на всей водоохраной зоне.

Размеры и границы (ширина) водоохраных зон и прибрежных полос, а также режим ведения в них хозяйственной деятельности определяются в проектах водоохраных зон и прибрежных полос с учетом существующих природных условий, характера антропогенной нагрузки и границ запретных полос лесов.

Для водных объектов, расположенных в черте городов и поселков городского типа, разрабатываются отдельные проекты водоохраных зон и прибрежных полос. Здания и сооружения, ранее возведенные на территории водоохраных зон и прибрежных полос и являющиеся потенциальными источниками загрязнения вод, подлежат обследованию с целью определения возможности их дальнейшего функционирования и условий эксплуатации с соблюдением требований законодательства об охране окружающей среды.

Границы водоохраных зон и прибрежных полос устанавливаются:

- для рек и озер - от среднесезонного меженичного уровня воды (среднесезонного уреза воды в летний период);
- для водохранилищ и прудов - от уреза воды при нормальном подпорном уровне с учетом зон прогнозирования
- для родников и ручьев, формирующих сток в водосборном бассейне (исток реки), на прилегающих к ним территориях - от уреза воды.

В соответствии с действующим природоохранным законодательством Республики Беларусь в области охраны водных ресурсов в водоохраных зонах устанавливается специальный режим хозяйственной деятельности, которая должна осуществляться с соблюдением мероприятий, предотвращающих загрязнение, засорение и истощение вод.

В пределах границ водоохраных зон запрещается:

- применение пестицидов, внесение минеральных удобрений авиационным методом;
- размещение животноводческих ферм и комплексов, накопителей сточных вод, полей орошения сточными водами, кладбищ, скотомогильников, а также других объектов, обуславливающих опасность микробного загрязнения и подземных вод;
- размещение складов для хранения пестицидов, минеральных удобрений, площадок для заправки аппаратуры пестицидами; объектов хранения нефти и нефтепродуктов (за исключением складов нефтепродуктов в портах, судоремонтных заводах и предприятиях водных путей),



а также других объектов, способных вызывать химическое загрязнение поверхностных и подземных вод;

- устройство объектов размещения отходов, за исключением санкционированных мест временного содержания отходов по согласованию с территориальными органами Минприроды;
- удаление объектов растительного мира без утвержденных проектов благоустройства и озеленения, за исключением санитарных рубок, а также разрешенных рубок, обеспечивающих безопасность движения водного и наземного транспорта, и иные действия, предусмотренные законодательством о растительном мире и законодательством о государственной границе;
- мойка транспортных средств вне установленных мест;
- строительство и реконструкция сооружений и коммуникаций для очистки сточных вод, зданий, АЗС и других сооружений без согласования с территориальными органами Минприроды.

Дополнительно к этим ограничениям в пределах границ прибрежных полос запрещается:

- применение всех видов удобрений;
- выпас скота и организация летних лагерей для него;
- строительство зданий и сооружений;
- проведение работ, нарушающих почвенный и травяной покров (распашка земель, добыча полезных ископаемых и др.), за исключением обработки земель для залужения, посева и посадки леса;
- удаление объектов растительного мира, за исключением их удаления при проведении работ по содержанию пограничных знаков, знаков береговой навигационной обстановки и обустройству водных путей, полос отвода автомобильных и железных дорог, иных транспортных и коммуникационных линий;
- размещение отходов, сооружений для очистки сточных вод (за исключением сооружений для очистки дождевых вод) и обработки осадка;
- размещение и строительство гидротехнических, гидроэнергетических сооружений, дюкеров (пересечений) инженерно-технических коммуникаций, сооружений и объектов рекреационного назначения и благоустройства, проведение работ, связанных с укреплением берегов и коренным улучшением земель без согласования с территориальными органами Минприроды и др.

Прибрежные полосы, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью или залужены.

В пределах границ водоохраных зон и прибрежных полос законодательством Республики Беларусь могут быть установлены и другие ограничения хозяйственной деятельности.

Подземные воды, так же как и поверхностные, в настоящее время нуждаются в специальной охране и защите, так как они являются

основным резервуаром чистой питьевой воды и источником питьевого водоснабжения для населенных пунктов.

Для борьбы с истощением запасов пресных подземных вод, пригодных для целей питьевого водоснабжения, необходимо выполнять следующий комплекс мероприятий:

- регулирование режима водооборота подземных вод;
- более рациональное размещение водозаборов по площадям;
- определение величины эксплуатационных запасов с целью рационального их расходования;
- отказ от размещения самоизливающихся артезианских скважин, перевод их на крановый режим;
- запрет или значительное ограничение использования подземных пресных вод на технологические нужды.

В связи с истощением подземных вод в нашей стране и за рубежом для целей водоснабжения сложилась практика пополнять, разбавлять или заменять их поверхностным стоком, что очень опасно, так как поверхностные воды обычно в значительной мере загрязнены гидроплютантами.

С целью предотвращения загрязнения подземных вод совершенствуют методы очистки сточных вод; внедряют маловодные производства и производственные процессы; тщательно экранируют бассейны со сточными водами, полигоны, накопители отходов, все сооружения с токсичными или опасными веществами и т.д.

Важнейшей мерой борьбы с загрязнением подземных вод в районах водозаборов является устройство вокруг них зон санитарной охраны.

*Зона санитарной охраны (ЗСО) источника водоснабжения* – это специально выделенная территория, охватывающая используемый водоем и частично бассейн его питания. На этой территории устанавливается режим, обеспечивающий надежную защиту источника водоснабжения от загрязнения и сохранение требуемых санитарных качеств воды. ЗСО организуются в составе трех поясов:

- 1-й пояс (строгого режима) включает территорию непосредственного расположения водозаборов, площадок расположения водопроводных сооружений и водопроводящего канала. Он предназначен для защиты водозабора и водозаборных сооружений от случайного или умышленного загрязнения и повреждения;
- 2-й и 3-й пояса (пояса ограничений) включают территорию, предназначенную для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения.

В каждом из трех поясов устанавливается специальный режим и определяется комплекс мероприятий, направленных на предупреждения ухудшения качества воды.

Первый пояс включает территорию расположения водозабора, площадок расположения водопроводных сооружений и водоподающего канала.

Границы 1-го пояса ЗСО водопровода с поверхностным источником устанавливаются с учетом конкретных условий, в следующих пределах:

- для водотоков:
  - вверх по течению - не менее 200 м от водозабора;
  - вниз по течению - не менее 100 м от водозабора;
  - по прилежащему к водозабору берегу – не менее 100 м от линии уреза воды летне-осенней межени;
- для водоемов (водохранилища, озера) – граница 1 -го пояса должна устанавливаться в зависимости от местных санитарных и гидрологических условий, но не менее 100 м во всех направлениях по акватории водозабора и по прилежащему к водозабору берегу от линии уреза воды при летне-осенней межени;
- для водопроводных сооружений и водоводов границы 1-го пояса (строгoго режима) принимаются на расстоянии:
  - от стен запасных и регулирующих емкостей, фильтров и контактных осветлителей - не менее 30 м;
  - от водонапорных башен – не менее 10 м;
  - от остальных помещений – не менее 15 м.

Границы 2-го пояса ЗСО водотоков (реки, канала) и водоемов (водохранилища, озера) определяются в зависимости от климатических, природных и гидрологических условий.

Границы 3-го пояса ЗСО поверхностных источников водоснабжения на водотоке вверх и вниз по течению совпадают с границами 2-го пояса. Боковые границы должны проходить по линии водоразделов в пределах 3–5 км, включая притоки. Границы 3-го пояса поверхностного источника на водоеме полностью совпадают с границами 2-го пояса.

Ширину санитарно-защитной полосы следует принимать по обе стороны от крайних линий водопровода:

- при отсутствии грунтовых вод – не менее 10 м при диаметре водопроводов до 1000 мм и не менее 20 м при диаметре водопроводов более 1000 мм;
- при наличии грунтовых вод – не менее 50 м вне зависимости от диаметра водопровода.

Общими требованиями по организации ЗСО являются следующие:

- мероприятия предусматриваются для каждого пояса ЗСО в соответствии с его назначением. Они могут быть единовременными, проводимыми до начала эксплуатации водозабора, либо постоянными режимного характера;
- основной целью разрабатываемых мероприятий и их объема является сохранение постоянного природного состава воды путем устранения и предупреждения возможности ее загрязнения.

Границы ЗСО и разработка комплекса необходимых организационных, технических, гигиенических и противоэпидемических мероприятий определяются в зависимости от вида источника водоснабжения (подзем-

ных или поверхностных), проектируемых или используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, от степени их естественной защищенности и возможного микробного или химического загрязнения.

При наличии в подземных водах сверхнормативных концентраций железа или фтора водозаборы следует оборудовать обезжелезивающей или обестфторивающей установками.

**4. Требования к качеству воды и водоподготовка.** Согласно Водному кодексу Республики Беларусь качество воды представляет собой характеристику состава и свойств воды, определяющую ее пригодность для конкретного вида водопользования. Поскольку не существует единого показателя, который характеризовал бы весь комплекс характеристик воды, оценка качества воды ведется на основе системы показателей.

Показатели качества воды делятся на общие (физические, бактериологические, гидробиологические и химические) и специфические.

*Общие показатели* характерны для любых водных объектов. Использование специфических показателей (химические) обусловлено местными природными условиями, а также особенностями антропогенного воздействия на водный объект.

*Физические показатели.* Температура воды, влияющая практически на все процессы, от которых зависят состав и свойства воды. Запах воды создается специфическими веществами, поступающими в воду в результате жизнедеятельности гидробионтов, разложения органических веществ, химического взаимодействия содержащихся в воде компонентов и поступления из внешних источников. Запах воды измеряется в баллах. Прозрачность определяет протекание биохимических процессов, требующих освещенности (первичное продуцирование, фотолит). Она зависит от степени рассеивания солнечного света в воде веществами органического и минерального происхождения, находящимися в воде во взвешенном или коллоидном состоянии и измеряется в сантиметрах. Цветность воды обуславливается содержанием органических окрашенных соединений и измеряется в градусах. Высокая цветность снижает органолептические свойства воды, уменьшает содержание растворенного кислорода. Содержание взвешенных веществ, источниками которых могут служить процессы эрозии почв и горных пород, взмучивание донных отложений, продукты метаболизма и разложения гидробионтов, продукты химических реакций и антропогенные источники. Взвешенные вещества влияют на глубину проникновения солнечного света, ухудшают жизнедеятельность гидробионтов, приводят к заиливанию водных объектов, вызывая их экологическое старение (эвтрофирование). Содержание взвешенных веществ измеряется в г/м<sup>3</sup> (мг/дм<sup>3</sup>).

*Бактериологические показатели.* Характеризуют загрязненность воды патогенными микроорганизмами. К числу важнейших бактериологических показателей относят:

- коли-индекс - количество кишечных палочек в 1 л воды;

- коли-титр - количество воды (мл), в котором может быть обнаружена одна кишечная палочка;
- численность лактозоположительных кишечных палочек.

*Гидробиологические показатели.* Дают возможность оценить качество воды по состоянию животного мира и растительности водоемов. Существует несколько подходов к гидробиологической оценке качества воды. Оценка качества воды по уровню сапробности. Оценка качества воды по видовому разнообразию организмов и функциональным характеристикам водного объекта.

*Химические показатели.* Общие химические показатели: содержание растворенного кислорода, химическое потребление кислорода, биохимическое потребление кислорода, водородный показатель, содержание азота, фосфора и других веществ. К наиболее часто встречающимся специфическим химическим показателям качества воды относят содержание фенолов, нефтепродуктов, пестицидов, тяжелых металлов и др.

Действующие нормативы позволяют оценить качество воды, используемой для различных категорий водопользования:

- коммунально-бытовое (рекреационное) – купание, занятия спортом и отдых;
- хозяйственно-питьевое – источник хозяйственно-питьевого водоснабжения и для водоснабжения предприятий пищевой промышленности;
- рыбохозяйственное – среда обитания рыб и других водных организмов.

Нормативную базу оценки качества воды составляют общие требования к составу и свойствам воды (на основе физических, бактериологических, общих химических показателей) и значения предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ в воде водных объектов. ПДК - максимальные концентрации, при которых вещества не оказывают прямого или опосредованного влияния на состояние здоровья населения (при воздействии на организм в течение всей жизни) и не ухудшают гигиенические условия водопользования.

При отсутствии значений ПДК временно устанавливаются ориентировочно допустимые уровни (ОДУ) нормированных веществ. Они определяются расчетами или экспериментальными методами прогноза токсичности и применяются только на стадии предупредительного санитарного надзора за проектируемыми и строящимися предприятиями, очистными сооружениями.

Все вещества по характеру своего отрицательного воздействия делятся на группы. Каждая группа объединяет вещества одинакового признака действия, который называют признаком вредности. Одно и то же вещество при различных концентрациях может проявлять различные признаки вредности.

Признак вредности, который проявляется при наименьшей концентрации вещества, называют лимитирующим признаком (показателем) вредности (ЛПВ).

В водных объектах коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования различают три ЛПВ: органолептический, общесанитарный и санитарно-токсикологический.

В водных объектах рыбохозяйственного водопользования, кроме названных, выделяют еще два ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

Органолептический показатель представляет наибольшую концентрацию данного вредного вещества, которая не вызывает изменения органолептических показателей воды.

Общесанитарный показатель определяет наибольшую концентрацию вредного вещества, которая еще не влияет на процессы самоочищения в водоеме, на водную флору и фауну.

Санитарно-токсикологический показатель характеризует наибольшую концентрацию вредного вещества в воде, установленную на основании длительного хронического эксперимента на животных, которая не вызывает у них заметных сдвигов в состоянии здоровья.

При наличии значений нескольких показателей можно оценить индекс загрязнения воды (ИЗВ), который рассчитывается, как сумма приведенных к ПДК фактических показателей качества для шести основных загрязнителей воды.

**Водоподготовка.** Забор воды для нужд централизованного водоснабжения в большинстве населенных пунктов Беларуси осуществляется из подземных водных объектов. Качество используемых для водоснабжения подземных вод в основном соответствует нормативным требованиям.

Основными природными загрязнителями подземных вод являются соединения железа и марганца. Железосодержащие воды в 80–90% случаев содержат бикарбонатные формы железа. Основными методами обезжелезивания воды от бикарбонатных форм является аэрация (пропускание воздуха через воду и окисления двухвалентного железа в трехвалентное) и фильтрация осадка через зернистые фильтры. Если железо присутствует в воде в органических формах, для очистки используется известь.

Традиционные технологии подготовки питьевой воды основаны на физико-химических методах очистки и обеззараживания. Обработка природной воды состоит из ряда последовательных стадий: коагуляции, отстаивания, фильтрации, обеззараживания, а также, при необходимости, сорбции.

**5. Системы водоотведения и очистки сточных вод в городах. Работа общегородских очистных сооружений.** Города оказывают значительное воздействие на состояние водного бассейна. В крупных городах в расчете на одного жителя (с учетом загрязненных поверхностных стоков) ежедневно сбрасывается в водоемы более 1 м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод.

Основными загрязнителями водных объектов являются сточные воды промышленных предприятий, энергетики, жилищно-коммунального хозяйства, транспорт, поверхностный сток с городских территорий и пр.

По способу образования сточные воды города условно делятся на производственные, хозяйственно-бытовые и ливневые (дождевые).

*Производственные сточные воды*, содержащие специфические загрязняющие вещества, количество которых превышает допустимые нормы, проходят предварительную очистку на локальных очистных сооружениях в соответствии с действующими правилами приема сточных вод на общегородские очистные сооружения.

*Хозяйственно-бытовые сточные воды* в отличие от производственных имеют сравнительно стабильный состав. Для них характерно преобладание органических загрязняющих веществ над минеральными (примерное соотношение органических и минеральных веществ в неочищенных сточных водах составляет 5: 1) и устойчивый температурный режим на уровне 15-20 °С круглогодично. Минеральные вещества присутствуют в сточных водах: в нерастворенном виде – 5%, в виде суспензии – 5%, коллоидах – 1-2% и в растворенном виде – 30% от суммы загрязняющих веществ.

Органические вещества бытовых сточных вод можно разделить на две группы: безазотистые и азотсодержащие. Органические загрязнители присутствуют в сточных водах: в растворенном виде – 20%, в виде суспензии – 5%, в виде коллоида – 8%, в виде нерастворенных веществ – 15%. Бытовые сточные воды характеризуются низкой прозрачностью, способностью гнить, высокими БПК и бактериальным загрязнением, нейтральной или слабощелочной реакцией.

Поверхностный сток включает в себя дождевые, снеговые и поливочные сточные воды. Он бывает организованным и неорганизованным. Организованный поверхностный сток собирается с водосборной территории посредством специальных лотков и каналов и поступает в сети канализации или прямо в водный объект через выпуски ливневых вод. Неорганизованный поверхностный сток стекает в водный объект по рельефу местности.

Специфические особенности поверхностного стока связаны с эпизодичностью его поступления, резкими изменениями расхода и уровня загрязнения, изменчивостью состава загрязняющих веществ, значительно затрудняют контроль и регламентацию поступления его в городские системы водоотведения или в водные объекты.

Отходы жизнедеятельности человека, вода, использованная для бытовых нужд и в технологических процессах, а также поверхностный сток с городской территории удаляются через систему водоотведения и подаются на общегородские очистные сооружения.

Система водоотведения (канализационная система) включает следующие основные элементы: внутренние водоотводящие системы в жилых зданиях или производственных помещениях; внутриквартальные или

внутриплощадочные водоотводящие сети; внешние (внеплощадочные) водоотводящие сети; регулирующие резервуары; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения; выпуски очищенных сточных вод в водные объекты; аварийные выпуски сточных вод в водные объекты. Водоотводящие системы подразделяются на *общесплавные, отдельные и комбинированные*. В свою очередь отдельные системы подразделяются на *полные отдельные, неполные отдельные и полуротдельные*.

**Общегородские очистные сооружения.** Вода, поступающая в городскую систему водоотведения, обычно представляет собой смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. По системе водоотведения эти воды подаются на общегородские очистные сооружения. Если позволяет производительность этих сооружений, сюда же поступают частично или полностью дождевые и талые воды. Полный комплекс общегородских очистных сооружений включает блоки:

- механической очистки;
- биологической очистки;
- доочистки;
- обеззараживания,
- обработки осадка.

Механическая очистка обеспечивает удаление из сточных вод крупных включений, взвешенных и плавающих примесей. В состав блока механической очистки входят решетки, иногда с дробилками, песколовки, преаэраторы и первичные отстойники.

*Решетки* предназначены для улавливания крупных включений, которые при необходимости измельчаются в дробилках. На решетках достигается практически полное извлечение из очищаемых сточных вод крупных включений. Извлеченные крупные включения вывозятся на полигон бытовых отходов.

В *песколовках*, представляющих собой емкости определенных размеров, благодаря резкому уменьшению скорости течения очищаемой жидкости происходит осаждение взвешенных веществ. В песколовках удаляется из сточной воды примерно 40–60% мелких механических примесей. Из песколовки осадок подается на песковые площадки. После высыхания он может быть использован для планировочных работ.

В *преаэраторах* происходит первичное насыщение сточных вод кислородом путем подачи сжатого воздуха, что существенно улучшает процесс биологической очистки. В сточных водах, поступающих из систем водоотведения, растворенный кислород практически отсутствует. Смешение очищаемых вод с пузырьками воздуха способствует отделению нефтепродуктов и других плавающих примесей, которое происходит в *первичных отстойниках*, называемых также нефтеловушками. Степень удаления плавающих примесей составляет 60–80%. Всплывшие нефтепродукты спе-



циальными скребками собираются в бочки и направляются на регенерацию или на сжигание.

Из первичных отстойников очищаемые сточные воды поступают в блок *биологической очистки*, где происходит деструкция органических соединений, поддающихся биохимическому окислению. Из сооружений биологической очистки наибольшее распространение получили *аэротенки*. Они представляют собой железобетонные, реже кирпичные или металлические удлиненные емкости, где происходит контакт очищаемых сточных вод с *активным илом* при одновременном насыщении их кислородом воздуха. Активный ил представляет собой специально культивируемое сообщество микроорганизмов, пищей для которых служат органические вещества, содержащиеся в сточных водах. Нормальное содержание активного ила в очищаемых сточных водах составляет 2 г/л (по сухому веществу). Для интенсификации процесса деструкции органических соединений в аэротенки постоянно нагнетается сжатый воздух. Аэротенки в блоке биологической очистки располагаются таким образом, чтобы очищаемая сточная вода, проходя через них последовательно один за другим, находилась в контакте с активным илом в течение 18–20 часов. Температура воды в аэротенках должна быть не ниже +5° С и не выше 40° С. Степень

деструкции в аэротенках органических веществ, поддающихся биохимическому окислению, составляет около 90%.

Фауна биоценоза активного ила и характер бактериальных скоплений в первую очередь зависят от состава сточных вод. Основу этой системы, как по массе, так и по значимости в процессе очистки составляют бактерии главным образом в виде хлопьевидных скоплений – зооглей. Обычно присутствуют также нитчатые бактерии, гифы водных грибов, дрожжи, бесцветные жгутиконосцы, саркодовые (голые и раковинные) и инфузори. При продленной аэрации, когда осуществляется глубокая очистка, появляются коловратки, водные черви и в небольших количествах некоторые другие многоклеточные беспозвоночные (тихоходки, водные клещи, гастротрихи).

В активном иле выделяют три трофических звена - уровня: I трофический уровень биоценоза активного ила составляют: гетеротрофные бактерии и водоросли, сапрофитные грибы и простейшие (впитывают готовые органические вещества всей поверхностью клетки). Они являются первичными потребителями загрязняющих веществ. II трофический уровень составляют: голозойные простейшие (питаются твердыми частицами), к примеру, жгутиконосцы, раковинные корненожки. III трофический уровень составляют хищные виды: коловратки, сосущие инфузории, тихоходки, хищные грибы, и отдельные виды нематод.

Процесс полного биологического окисления проходит в три стадии. На первой стадии, сразу же после смешения сточных вод с активным илом, за счет большой поверхности ила, происходит сорбция загрязняющих веществ и их укрупнение. На этой же стадии начинается процесс окисления

легкоразлагающихся органических веществ. В ходе этого процесса, в месте поступления сточных вод в аэротенк происходит потребление почти всего растворенного кислорода. Первая стадия очистки длится от получаса до двух часов, содержание органических веществ, характеризуемое показателем БПК<sub>5</sub>, снижается на 50–60%.

На второй стадии продолжается сорбция загрязняющих веществ и активное окисление их экзоферментами, которые активный ил выделяет в водную среду. Ферментативно окисляется до 75% органических веществ. Скорость потребления кислорода на этой стадии меньше, чем на первой стадии, и содержание растворенного кислорода в воде повышается. Продолжительность этой стадии от двух до четырех часов, в зависимости от состава сточных вод.

На третьей стадии происходит окисление загрязняющих веществ эндоферментами внутри клетки. Крупные макромолекулы органических веществ, распавшиеся на более короткие на второй стадии, поступают внутрь клеток для дальнейшего окисления. На этой стадии протекает доокисление сложноокисляемых соединений, которые не окислились на второй стадии, превращение азота аммонийного в нитриты и нитраты, и на этой же стадии начинается регенерация активного ила. Именно на этой стадии бактерии активно выделяют в окружающую среду полисахаридный гель, благодаря которому и происходит образование бактериальных флокул. Скорость потребления кислорода снова возрастает. Продолжительность третьей стадии – для бытовых стоков 4–6 часов, и до 15 часов для смешанных стоков. Общая продолжительность всего процесса биологического окисления составляет 6–8 ч для бытовых и 10–20 и более часов для смешанных сточных вод.

Очищенные в аэротенках сточные воды поступают во *вторичные отстойники*, где происходит оседание активного ила, который попал сюда из аэротенков вместе с водой. Микроорганизмы активного ила при оседании адсорбируют своей чешуйчатой поверхностью мельчайшие взвеси, оставшиеся в очищаемых сточных водах после прохождения песколовков и первичных отстойников, а также ионы тяжелых металлов. Степень извлечения металлов за счет адсорбции микроорганизмами колеблется от 10 до 60%.

После вторичных отстойников городские сточные воды считаются прошедшими биологическую очистку и могут быть сброшены в поверхностные водные объекты. Перед сбросом в обязательном порядке производится их *обеззараживание* путем обработки хлорной водой. Приготовление хлорной воды производится в *хлораторной* растворением активного хлора в воде. После хлорирования сбросная вода должна пройти дегазацию, так как попадание активного хлора в водный объект может привести к гибели рыбы. Дегазация сбросных вод происходит в каналах и быстротоках по пути следования от места хлорирования до места выпуска в водный объект. В некоторых странах вместо хлорирования применяют озонирование. И тот, и другой способы обеззараживания воды имеют свои преимущества и недостатки.

Если качество очистки сточных вод не удовлетворяет условиям их сброса в водные объекты или сточные воды после очистки предполагается использовать для технического водоснабжения или пополнения городских рек, то в этих случаях организуется их доочистка. При пополнении стока городских рек очищенными сточными водами доочистка должна обеспечить придание им свойств и состава, присущих природным речным водам.

В процессе биологической очистки сточных вод образуется большое количество осадка, представляющего собой отмерший или избыточный активный ил, который удаляется из аэротенков и вторичных отстойников. Ил имеет влажность 97–98% и очень плохо отдает воду. С целью обезвоживания его сначала обрабатывают в метантенках или аэробных стабилизаторах, затем подвергают механическому обезвоживанию в гидроциклонах, центрифугах, вакуумфильтрах или фильтр-прессах, после чего направляют на иловые площадки для окончательного высушивания.

В *метантенках*, представляющих собой герметичные цилиндрические резервуары, в течение нескольких часов при температуре 33–53°C происходит сбраживание ила. При обработке в метантенке ил теряет свою водоудерживающую способность, его влажность снижается до 92–94%. В процессе сбраживания выделяется газ, главным образом метан, с теплотворной способностью до 5000 ккал/м<sup>3</sup>.

В *аэробных стабилизаторах*, представляющих собой обычные аэротенки, активный ил подвергается усиленной аэрации в течение нескольких суток. Расход воздуха при этом составляет до 2 м<sup>3</sup>/час на 1 м<sup>3</sup> вместимости стабилизатора. Влажность ила снижается на 2–3%, он в значительной мере теряет свою водоудерживающую способность.

При механическом обезвоживании влажность осадка может быть снижена до 65–70%, а объем его, по сравнению с сырым осадком (влажностью 98%), уменьшен в 15–20 раз.

Окончательное высушивание осадка происходит на *иловых площадках*. Площадки представляют собой выровненные участки (карты) площадью 0,25–2 га, обвалованные невысокими (0,7–1 м) дамбами. Здесь в природных условиях в течение нескольких месяцев (до года) происходит высушивание и компостирование (перегнивание) илового осадка. Компостированный иловый осадок является хорошим органическим удобрением. Ограничения в его применении могут быть связаны со сверхнормативным содержанием соединений тяжелых металлов.

**6. Очистные сооружения небольших населенных пунктов. Поля фильтрации, инфильтрационное биоплато.** Очистка сравнительно небольших расходов сточных вод может быть обеспечена на более простых по конструкции сооружениях, принцип действия которых также основывается на процессах биохимического разложения органических веществ сообществом микроорганизмов.

Наиболее простыми очистными сооружениями, используемыми человеком уже более пяти столетий, являются *поля фильтрации*. Они представляют собой спланированные площадки (карты) с уклоном до 0,02, обвалованные дамбами, площадью от нескольких квадратных метров до 1,5–2 га. Поля фильтрации устраиваются обычно на проницаемых грунтах – песках, супесях, легких суглинках. Наряду с биологической очисткой сточных вод, в которой принимают участие сообщества микроорганизмов как водных, формирующихся на поверхности карт, так и почвенных, развивающихся в толще проницаемых грунтов, в процессе фильтрации воды через породы основания происходит ее дополнительная механическая и отчасти физико-химическая очистка. Преимуществами полей фильтрации является простота устройства и эксплуатации. К их недостаткам следует отнести необходимость занятия больших площадей, возможность загрязнений подземных вод и атмосферного воздуха газообразными продуктами разложения хозяйственно-бытовых сточных вод, которое ощущается на расстоянии до 200 м от полей фильтрации.

Разновидностью полей фильтрации являются *поля подземной фильтрации*, в которых на глубине 0,5–1,8 м укладываются дренажные трубы. По ним очищенная вода отводится с полей фильтрации и используется для орошения сельскохозяйственных угодий.

Прогрессивным развитием методов естественной биологической очистки являются биоинженерные сооружения типа *биоплато*. Для очистки и доочистки сточных вод населенных пунктов могут быть использованы конструкции типа инфильтрационных и поверхностных биоплато. *Инфильтрационное биоплато* – инженерное сооружение, размещенное, как правило, в котловане глубиной до 2 м, на дне которого устраивается противофильтрационный экран из полиэтиленовой пленки. Поверх экрана укладывается горизонтальный дренаж и слой щебня, песка, керамзита или другого фильтрующего материала. Поверхность сооружения засаживается камышом, тростником, рогозом и другими местными видами высшей водной растительности из расчета не менее 10–12 стеблей на 1 м<sup>2</sup>. По технологии биоплато в очистке воды принимают участие сообщества водных (на поверхности блока) и почвенных (в фильтрующем слое) микроорганизмов, высшая водная растительность и сам фильтрующий слой. *Поверхностное биоплато* также размещается в котловане и имеет противофильтрационный экран. Роль дренажа выполняет каменная наброска, вместо фильтрующего слоя укладывается грунт котлована, поверхность которого засаживается высшей водной растительностью. Высшая водная растительность, кроме очистительной функции, обеспечивает повышенную транспирацию (испарение) очищаемой жидкости в летний период примерно на 10–15%. Транспирационные свойства высшей водной растительности могут быть использованы также для ускорения подсушивания иловых площадок, повышения пропускной способности и эффективности очистки полей фильтрации.

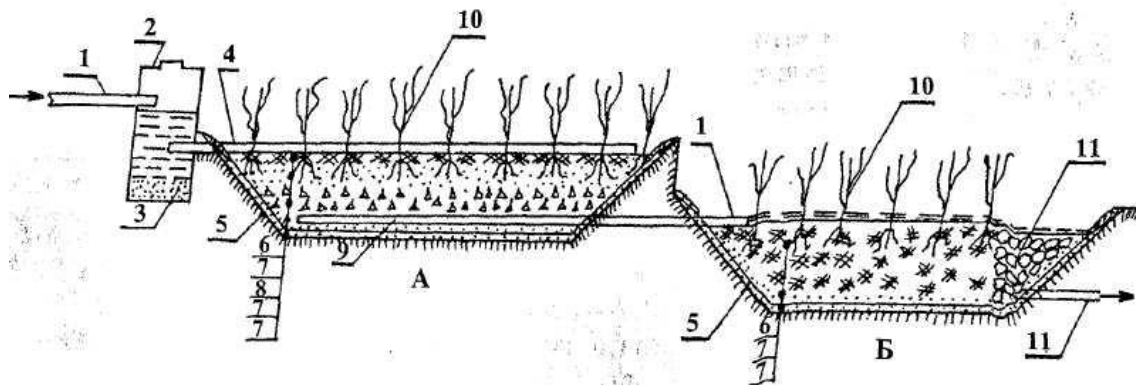


Рисунок 2 – Очистные сооружения типа биоплато

А – инфильтрационное биоплато; Б – поверхностное биоплато

- 1 – подача воды на очистку; 2 – отстойник; 3 – осадок; 4 – распределительный трубопровод; 5 – противофильтрационный экран; 6 – растительный грунт; 7 – песок; 8 – щебень; 9 – дренаж; 10 – высшая водная растительность; 11 – каменная наброска; 12 – очищенная вода.

Сооружения биоплато, удачно расположенные по рельефу местности, не требуют применения электроэнергии, химикатов и обеспечивают надежную работу как в летний, так и в зимний период. Для очистки производственных сточных вод по технологии биоплато требуется производить их предочистку в соответствии с особенностями их состава и свойств.

**7. Охрана и регулирование качества вод.** Под охраной вод понимают систему мер, направленных на предотвращение, ограничение и устранение последствий их загрязнения, засорения и истощения.

*Регулирование качества воды* – это различного рода воздействие на факторы, влияющие на состояние водного объекта для соблюдения норм их качества. Для улучшения качества поверхностных вод применяются предупредительные, организационные и технические мероприятия.

*Качество воды* – это характеристика состава и свойств воды, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования. Государственная политика в области использования и охраны вод ориентирована на обеспечение безопасного и бесперебойного снабжения водой населения, промышленности и сельского хозяйства при соблюдении интересов других водопользователей с сохранением водно-ресурсного потенциала.

Юридической основой управления использованием и охраной вод являются законы Республики Беларусь: «Закон об охране окружающей среды», «Водный Кодекс Республики Беларусь», «Закон о питьевом водоснабжении», «Закон о налоге за пользование природными ресурсами», «Правила охраны поверхностных вод», Государственная программа по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода». Разработка и реализация водохозяйственных и водоохраных мероприятий координируется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и его территориальными органами.

С целью наблюдения за состоянием окружающей среды в районах расположения и влияния источников вредного воздействия на окружающую среду ведётся локальный мониторинг.

Сеть мониторинга поверхностных вод насчитывает 301 пункт наблюдений. Оценка состояния водных объектов в бассейнах Западной Двины, Немана, Западного Буга, Днестра и Припяти и уровня их загрязнения проводится по среднегодовым концентрациям приоритетных загрязняющих веществ, используемых в расчетах индекса загрязненности вод (ИЗВ), – растворенного кислорода, органических веществ, нормируемых по БПК<sub>5</sub>, азота аммонийного, азота нитритного, фосфора фосфатного и нефтепродуктов.

Водный кодекс Республики Беларусь регулирует отношения, возникающие при владении, пользовании и распоряжении водами, и направлен на создание условий для рационального использования и охраны вод, восстановления водных объектов, сохранения и улучшения водных экологических систем.

Поверхностные воды должны охраняться от засорения, загрязнения и истощения. Для предупреждения засорения принимаются меры, исключающие попадание в водоемы и реки строительного мусора, твердых и иных коммунальных, сельскохозяйственных и промышленных отходов, других предметов и веществ, негативно влияющих на качество вод. Истощение поверхностных вод предотвращают путем строгого контроля за водопотреблением и водоотведением во всех сферах хозяйственной деятельности.

Хотя водные ресурсы относятся к категории возобновляемых, их интенсивное использование в отдельных районах и на некоторых производствах нередко неоправданно завышено, что приводит к возникновению их дефицита. Практически во всех видах водопотребления имеются существенные резервы экономии водных ресурсов. Особенно велики они в промышленности. Для большинства промышленных производств требования к качеству используемой воды значительно менее жесткие, чем к составу вод, подлежащих к сбросу в водный объект или в городскую систему водоотведения. Поэтому производственные сточные воды гораздо выгоднее направлять на повторное использование в системах оборотного и последовательного водоснабжения, чем подвергать очистке, удовлетворяющей условиям сброса.

Основными методами защиты и восстановления поверхностных и подземных вод на урбанизированных территориях являются следующие.

1 Уменьшение интенсивности внешнего воздействия на поверхностные водные объекты:

- за счет изменения технологии производства; развития безотходных и безводных (маловодных) технологий;
- внедрения систем оборотного водоснабжения;

- санитарной очистки городов;
- очистки сточных вод и их повторного использования.

Наиболее эффективным способом защиты поверхностных вод от загрязнения их сточными водами является разработка и внедрение безводной (маловодной) и безотходной технологии производства, начальным этапом которой является применение оборотного водоснабжения.

Для технологических процессов и производств необходимо создавать замкнутые системы водоснабжения, исключая сброс сточных вод. В состав замкнутых систем водоснабжения входят локальные сооружения для очистки технологической воды, обеспечивающие ее состав и свойства в соответствии с требованиями данного технологического процесса.

В системах оборотного водоснабжения вода, использованная в технологическом процессе, после соответствующей обработки многократно используется для производственных нужд. Наибольшее распространение оборотные системы водоснабжения получили в теплообменных циклах, где технологическая вода используется для отведения излишней теплоты работающих агрегатов, после чего сама подается на охлаждение.

В системах последовательного водоснабжения вода, использованная в одном технологическом процессе (после предварительной обработки или без нее) направляется для использования в другом технологическом процессе, на другом производстве. Обработка воды должна обеспечивать ее свойства в соответствии с требованиями конкретного технологического процесса.

2. Интенсификация внутриводоемных процессов с целью поддержания и восстановления самоочищающей способности водоемов путем целенаправленного изменения гидрологических условий или непосредственного воздействия на биотическую часть водной экосистемы (изменение скорости течения, формы поперечного сечения русла, материала крепления береговых откосов, разработка специальных биоинженерных сооружений (русловые, береговые, устьевые биоплато и т.п.)).

3. Дезэвтрофикация водоемов:

- включающая удаление и экранирование донных отложений;
- отвод воды из гиполимниона;
- химическую обработку вод (наиболее эффективным и экологически безопасным является сульфат алюминия);

изменение условий среды обитания живых организмов.

4. Соблюдение режимов эксплуатации подземных водоносных горизонтов:

- за счет локализации, ликвидации и предотвращения появления новых техногенных источников загрязнения водоносных горизонтов (накопителей жидких и твердых отходов, канализационных систем, нефте- и продуктопроводов и др.);

- увеличения отдачи подземных водоносных горизонтов за счет искусственного пополнения запасов подземных вод;
- регулирование режима водооборота подземных вод;
- более рационального размещения водозаборов по площадям;
- определения величины эксплуатационных запасов с целью рационального их расходования;
- отказа от размещения самоизливающихся артезианских скважин, перевод их на крановый режим;
- запрета или значительного ограничения использования подземных пресных вод на технологические нужды и т.п.

5. Устройство зон санитарной охраны вокруг питьевых водозаборов из подземных водоносных горизонтов (см. п. 3.2).

Известно, что кроме сточных вод значительную роль в загрязнении гидросферы играют удобрения и средства химической защиты растений (гербициды, пестициды и пр.), которые смываются поверхностным стоком сельскохозяйственных угодий. Для предотвращения попадания таких стоков в водоемы необходимо проводить комплекс мероприятий:

- включающий соблюдение норм и сроков внесения удобрений и ядохимикатов;
- очаговую и ленточную обработку пестицидами вместо сплошной;
- внесение гранулированных видов удобрений вместе с поливкой водой;
- замену ядохимикатов биологическими способами защиты растений и др.

Все большее значение в охране поверхностных вод от загрязнения и засорения в настоящее время приобретают такие приемы, как агролесомелиорация и гидротехнические мероприятия. С их помощью можно предотвратить заиление и зарастание озер, прибрежных зон крупных рек, водохранилищ и малых рек, а также появление оползней, обрушение берегов, образование эрозии и т.д.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как осуществляется водоснабжение городов?
2. Характеристика зон санитарной охраны поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения.
3. Принцип работы и состав городских очистных сооружений.
4. Виды очистных сооружений для небольших населенных пунктов.
5. Классификация методов очистки сточных вод.
6. Перечислите основные требования к качеству воды.
7. Какие требования предъявляются к водоснабжению городов?
8. Что представляет собой процесс водоподготовки?
9. Какие бывают системы водоотведения в городах?
10. Как производится очистка сточных вод в городах?
11. Охарактеризуйте систему охраны и регулирования качества вод.



## Лекция 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ГОРОДА

1. Почва в условиях городской среды. Понятие урбанозем.
2. Антропогенная нагрузка на почвы в условиях городской среды.
3. Принципы нормирования загрязняющих веществ в почвах городской среды.

**1. Почва в условиях городской среды. Понятие урбанозем.** В широком понимании *городская почва* – это любая почва, функционирующая в окружающей среде города. Развитие городских экосистем в отличие от природных, определяется не столько естественными природными процессами, сколько деятельностью человека (которая одновременно является и пусковым механизмом и постоянным регулятором городского почвообразования). Поэтому в городе имеет место значительное изменение всех факторов почвообразования и особенно почвообразующих пород. Основными факторами, оказывающими воздействие на почву, являются: захламление (размещение на поверхности или в толще почвы отходов производства и потребления, а также других предметов), загрязнение (поступление в почвы химических, радиоактивных, других вредных веществ и микроорганизмов, которые вызывают ухудшение качества городских почв, негативно воздействуют на другие компоненты природной среды), нарушение (негативное изменение строения городских почв, включая уплотнение слоев, снятие почвы, ее перемещение). Для городских почв характерны следующие общие черты: материнская порода – насыпные, намывные или перемешанные грунты или культурный слой; включения строительного и бытового мусора в верхних горизонтах; нейтральная или щелочная реакция (даже в лесной зоне); высокая загрязненность тяжелыми металлами, нефтепродуктами, компонентами выбросов промышленных предприятий; особые физико-механические свойства почв (пониженная влагоемкость, повышенная объемная масса, уплотненность, каменистость); рост профиля вверх за счет постоянного привнесения различных материалов и интенсивного эолового напыления.

Специфика городских почв состоит в сочетании перечисленных свойств. К особенностям почвообразовательных процессов на городских территориях относятся: деформация структуры почвы и порядка расположения почвенных горизонтов; низкое содержание органического вещества; уменьшение численности популяций и активности почвенных микроорганизмов и беспозвоночных как следствие дефицита органического вещества. Значительное влияние на формирование почв в городе оказывает вывоз и сжигание листвы, в результате чего нарушается биогеохимический цикл питательных элементов, а почвы постоянно беднеют. Особый фактор – запечатывание территории – покрытие поверхности водой воздухонепроницаемыми материалами вследствие застройки, асфальтирования и иной

деятельности. На данный момент антропогенные почвы как объекты классификации относят к стволу синлитогенных, растущих вверх за счет более или менее регулярного привноса нового материала, почв и отделам антропогенно-преобразованных почв.

В пределах города выделяют почвы: естественные природные; поверхностно преобразованные естественные (урбопочва); глубоко преобразованные (урбаноземы); поверхностно гумусированные искусственно созданные почвы-грунты (урботехноземы). Естественные ненарушенные почвы сохраняют нормальное залегание горизонтов естественных почв, хотя их можно только условно относить к этой категории почв из-за неизбежного присутствия в них разного рода загрязняющих веществ. В городах они приурочены преимущественно к городским лесам и лесопарковым территориям, расположенным в черте города.

Группу собственно городских почв образуют антропогенные глубоко преобразованные почвы, которые подразделяются на две группы:

- физически преобразованные почвы, в которых произошла физико-механическая перестройка профиля (урбозем, культу-розем, некрозем, экранозем);
- химически преобразованные почвы, в которых произошли значительные хемогенные изменения свойств и строения профиля за счет интенсивного химического загрязнения как воздушным, так и жидкостным путем (индустризем, интрузем).

Техногенные поверхностно преобразованные почвы (*урботехноземы*) представляют собой искусственно созданные почво-грунты путем засыпки плодородного грунта, торфокомпостной смеси на свежие обнаженные грунты в процессе благоустройства или рекультивации территории.

Наиболее важным для формирования городской среды является биологическая активность и биологическая поглотительная способность городских почв.

*Биологическая активность* – это способность создавать относительно благоприятные условия для развития и жизнедеятельности в них биоты. Она выражается суммарным проявлением активности биохимических процессов и характеризует интенсивность и направленность процессов превращения веществ и энергии в грунте, происходящих под влиянием живых организмов. Различают макро- и микробиологическую активность грунта. Первая отражает способность грунта создавать условия для развития макроорганизмов (грибов, растений, животных), вторая – для развития микроорганизмов.

*Биологическая поглотительная способность грунтов* обусловлена способностью присутствующими в них макро- и микроорганизмами потреблять из внешней среды, взаимодействующей с грунтом, различные компоненты.

В условиях городской среды практически полностью изменены состав, численность и устойчивость микробных сообществ по сравнению с ненарушенными территориями, обуславливающих микробиологические и санитарно-эпидемиологические свойства почв.

В целом антропогенное воздействие на компоненты геологической среды города может привести к развитию опасных геологических процессов, деформации и разрушению зданий и сооружений, значительному экономическому ущербу и человеческих жертвам, существенному ухудшению качества городской среды.

Почвы урбанизированных территорий являются важным фактором экологического и санитарного состояния городов. К основным экологическим функциям городских почв относится их способность обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности, жизнедеятельность почвенных организмов, поглощать загрязняющие вещества и предотвращать их проникновение в сопредельные природные среды и поддерживать биоразнообразие. Однако в крупных промышленных городах происходит значительная деградация экологических функций городских почв.

**2. Антропогенная нагрузка на почвы в условиях городской среды.** *Геохимическое засорение*, являющееся следствием попадания в почвы и грунты химически активных веществ. Перечислим основные источники химического загрязнения городских почв.

*Электролиты (хлориды кальция и натрия)*, содержащиеся в противогололедных смесях. Максимальное содержание легкорастворимых солей в верхних горизонтах почв города отмечается в весенний период. Концентрация хлористого натрия в снеговой воде в десятисантиметровой зоне около дорог может достигать 1300-1900 мг/л, тогда как на фоновых участках не превышает 1-2 мг/л. Летом, по мере промывания дождевыми водами, уровень солей снижается, достигая минимума в осенний период. Зона распространения солевых аэрозолей в снеговом покрове от 30 до 150–200 м в зависимости от конкретных ландшафтных условий. Механические барьеры (здания, кустарники, деревья) уменьшают дальность переноса аэрозолей солей, резко увеличивая их концентрацию в непосредственной близости от дорог. Открытые пространства, наоборот, способствуют более дальнему переносу, при этом по мере удаления от дороги уровень концентрации соли в снеге постепенно убывает.

*Автотранспорт.* В почвах придорожных зон наиболее интенсивно накапливается свинец, цинк, серебро, в меньшей степени медь, олово, хром, никель, молибден, кобальт, марганец, железо. Выявлено несколько зон аккумуляции транспортного загрязнения в почвах: первая зона обычно расположена в непосредственной близости от автодороги, на расстоянии до 15–20 м.; вторая зона на удалении 20–100 м. На открытых пространствах вторая зона проявлена обычно слабее, в связи с благоприятными условиями рассеивания

воздушного потока. Иногда отмечают третью зону аномального накопления элементов, находящуюся от дороги на расстоянии около 150 м.

Для крупных автомагистралей с большим количеством полос движения загрязнение почв металлами проявляется слабее, чем для узких магистралей. Это объясняется тем, что на широких магистралях автомашины движутся с большей скоростью, расходуя меньше бензина и тем самым уменьшая выбросы в атмосферу.

На урбанизированных территориях загрязнение почвы происходит также в результате выбросов *промышленности*. Загрязняющие группы химических веществ промышленных предприятий: тяжелые металлы и их соединения, циклические углеводороды, бенз(а)пирен, радиоактивные вещества. Вследствие промышленных выбросов в ней накапливается избыточное количество химических соединений, такие как: ртуть, мышьяк, медь, свинец, фтор. Вокруг промышленных предприятий зачастую создаются зоны, почва которых сильно загрязнена подобными элементами. Так, в окрестностях суперфосфатного и ртутного комбинатов в зависимости от удаленности от него 1 кг почвы может содержать от 1,3 до 4,6 мг ртути. Соединения серы вызывают подкисление почв, а аммиак, сода и соединения магния – подщелачивание.

В результате *работы коммунального хозяйства*, утечек канализации и отстойников наблюдается загрязнение почвы тяжелыми металлами, циклическими углеводородами, нитратами, нитритами, фосфатами и пестицидами.

Геохимическое загрязнение происходит и за счет *утилизации и хранения коммунальных и промышленных отходов*, в состав которых входят токсичные химические элементы, большое количество компонентов синтетического происхождения, которые практически не расщепляются естественным путем и накапливаются в окружающей среде.

2. *Механическое загрязнение* заключается в засорении почв крупнообломочным материалом в виде строительного мусора, битого стекла, керамики и других относительно инертных отходов. Это оказывает неблагоприятное влияние на механические свойства почв и снижают эстетические свойства природных объектов.

3. *Биологическое загрязнение* связано с проникновением в почвенную среду и размножением в ней опасных для человека организмов. Бактериологические, гельминтологические и энтомологические показатели состояния почв городских территорий определяют уровень их эпидемиологической опасности. Эти виды загрязнения подлежат контролю, прежде всего на территории селитебных и рекреационных зон.

4. *Трансформация рельефа*. Хозяйственная и строительная деятельность человека в течение исторического времени существования города значительно, а иногда практически полностью меняет первоначальный естественный рельеф местности, что выражается в перепланировке и выравнивании поверхности, исчезновении долинно-балочной разветвленной

сети и создании антропогенного (техногенного) рельефа. Антропогенный (техногенный) рельеф – совокупность форм земной поверхности, измененных или созданных человеком. Различают стихийно возникающие и сознательно созданные формы антропогенного рельефа.

Изменение рельефа происходит при вертикальной планировке, застройке и благоустройстве территории, добыче полезных ископаемых. Это связано со срезкой, подсыпкой и перемещением грунтов; складированием отвалов грунта, твердых промышленных и иных отходов; террасированием склонов; устройством выемок; опусканием и просадкой поверхности земли; засыпкой оврагов, болот и т.д. Рельеф города непосредственно влияет на водную и воздушную миграцию загрязняющих веществ.

Влияние процессов искусственного рельефообразования на территории городов неоднозначно: выравнивание крутизны склонов и перепада высот вследствие засыпки оврагов, балок, промоин и других элементов естественного рельефа, планировка и намыв строительных площадок, с одной стороны, снижают интенсивность склоновых и эрозионных процессов, с другой стороны - снижают дренирующие возможности территории, изменяют естественные области разгрузки подземных вод, что приводит к формированию верховодки, повышению уровня грунтовых вод и к подтоплению территории.

5. *Тепловое загрязнение* геологической среды города проявляется в повышении ее температуры относительно естественных значений. При этом могут образовываться геотермические аномалии. Показано, что на территории крупного города нарушения температурного режима происходят до глубины 100–50 м и более. При этом на горизонтах 10–30 м наблюдаются тенденции к расширению по площади геотермических аномалий с повышением на 2–6°C фоновых значений температуры пород и подземных вод. Наиболее активными источниками возникновения геотермических образований являются магистральные теплопроводы и сети горячего водоснабжения.

Геотермические аномалии вызывают следующие нарушения:

- образование локальных микроклиматических аномалий на территории города;
- локальное просушивание грунтов с изменением их прочности, что особенно опасно в зонах исторической плотной жилой застройки;
- изменение режимов водо-, массо- и теплообмена грунтов и подстилающих пород;
- усиление процессов химической и биокоррозии металлов;
- изменение микробиоценозов.

6. *Электромагнитное загрязнение* геологической среды города связано с возникновением электрических полей блуждающих токов в земле при работе рельсового электротранспорта, подземных сетей кабелей, снабжающих электроэнергией здания и сооружения и т.д. Воздействие электрического поля блуждающих токов выражается в повышении коррозионной активности геологической среды города, что существенно сокращает сроки безаварийной службы кабелей и трубопроводов, утечки из которых, в свою очередь, служат

источниками загрязнения почв, грунтов и подстилающих пород территории города. Опасность коррозии возникает при плотности блуждающих токов  $5-10^{-2}$  А/м<sup>2</sup>, в то время как реальная их плотность в крупных городах примерно в 200 раз выше. При высоком уровне плотности блуждающих токов скорость электрохимической коррозии стали составляет до 2 мм/год, что приводит к снижению срока эксплуатации трубопроводов в 2 раза.

7. *Вибрационное загрязнение* геологической среды города обусловлено движением транспортных средств по городским магистралям. Уровень и степень его воздействия на литогенную основу городской территории зависит от типа пород, ее слагающих. Скальные и полускальные грунты обладают меньшей способностью к поглощению энергии вибрационных колебаний, тогда как более рыхлые породы и грунты активно ее поглощают, что приводит к изменению структуры и уменьшению их прочности. Это может способствовать развитию обвальнопользовных процессов на территории города. В качестве верхнего предела допустимого вибрационного воздействия на геологическую среду принимается 73 дБ, что соответствует скорости перемещения частиц породы около  $225-10^{-6}$  м/с. Эти условия могут создаваться при регулярном движении рельсового транспорта.

Наиболее опасными геологическими процессами на территории городов являются техногенно обусловленные землетрясения (микроземлетрясения), эрозия почв, обвалы, оползни, нарушение прибрежной территории, подтопление и затопление, карстообразование, просадка поверхности, высвобождение и аккумуляция окружающей городской средой радона и радиоактивных веществ, а также формирование геопатогенных зон.

Для крупных городов Беларуси характерно развитие процесса карстообразования в связи с геологическими особенностями региона.

Карстообразование – это процесс выщелачивания растворимых горных пород подземными и поверхностными водами с образованием крупных пустот в породах, с последующим оседанием и обрушением кровли зданий и сооружений. Естественными факторами карстообразования являются пересеченный рельеф, наличие мощного подземного стока, высокие скорости фильтрации грунтов, присутствие в стоках свободной углекислоты, трещиноватость пород.

На территориях городов развитию карста способствует формирование значительных по размерам депрессионных воронок в районах водозабора, высокая кислотность поверхностного стока за счет химического загрязнения, повышенная фильтрационная способность насыпных грунтов, механическое разрушение материнских подстилающих пород при строительстве объектов.

**3. Принципы нормирования загрязняющих веществ в почвах городской среды.** Основные положения теории и практики гигиенического нормирования содержания вредных веществ в почве заключается в следующем:

1. Поступление экзогенных химических веществ в почву не всегда следует рассматривать как опасное для здоровья человека и окружающей среды.

2. Безопасность поступления химических веществ в почву определяется недопустимостью превышения адаптационной возможности самых чувствительных групп населения или порога самоочищающей (экологической) способности почвы.

3. Нормативы основываются на данных, полученных в экстремальных почвенно-климатических условиях (максимальная миграция вещества в контактирующие с почвой среды) с учетом влияния на процессы самоочищения и микробиоценоза.

4. Гигиенические нормативы устанавливаются с учетом лимитирующего показателя вредности: общесанитарного (влияние на процессы самоочищения почвы), водно-миграционного, воздушно-миграционного (переход из почвы в воду или воздух), органолептического (изменение запаха, привкуса, пищевой ценности фитотест-растений), фитоаккумуляционного (переход и накопление в растениях) и санитарно-токсикологического. Санитарно-токсикологический норматив учитывает возможность поступления веществ, содержащихся в почве, в организм человека одновременно несколькими путями: с пылью, вдыхаемым атмосферным воздухом, питьевой водой, продуктами питания и др.

5. Учитывая чрезвычайную вариабельность климатогеографических условий формирования почв, экспериментально обоснованную ПДК рассматривают как эталонную величину отсчета, используемую для оценки опасности загрязнения почвы в конкретных почвенно-климатических условиях.

Нормирование загрязняющих веществ в почве проводят по трем направлениям:

1. Нормирование содержания пестицидов (химических средств защиты растений) в пахотном слое почвы сельскохозяйственных угодий.

2. Нормирование накопления токсичных веществ на территории предприятия.

3. Нормирование загрязненности почвы в жилых районах, главным образом в местах временного хранения бытовых отходов.

Загрязняющие вещества в пахотном слое почвы нормируются по двум показателям: предельно допустимым (ПДКп) и временно допустимым концентрациям (ВДКп).

Предельно допустимые концентрации загрязняющего вещества в почве – это максимальное его количество (мг/кг пахотного слоя абсолютно сухой почвы), установленное в экстремальных почвенно-климатических условиях, которое гарантирует отсутствие отрицательного прямого или опосредованного через контактирующие с почвой среды воздействия на здоровье человека, его потомство и санитарные условия жизни.

ПДКп устанавливают, используя данные о фоновых концентрациях загрязняющих веществ, их физико-химических свойствах, параметрах стойкости, токсичности. На основе эксперимента устанавливают: – допустимую

концентрацию загрязняющего вещества в почве, при которой его содержание в пищевых и кормовых растениях не превысит некоторых допустимых остаточных количеств (ДОК) или ПДК в продуктах питания (ПДКпр);

– допустимую (для летучих веществ) концентрацию, при которой поступление вещества в воздух не превысит установленных ПДК для атмосферного воздуха (ПДК а. в.);

– допустимую концентрацию, при которой поступление вещества в грунтовые воды не превысит ПДК для водных объектов;

– допустимую концентрацию, которая не влияет на микроорганизмы и процессы самоочищения почвы.

Различают четыре разновидности ПДКп в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ - транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА - миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ - миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС - общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

Комплексные гигиенические показатели, к ним относятся:

– санитарно-физико-химические оценки, относящиеся в основном к почвенным фильтратам (санитарное число, кислотность, биохимическое потребление кислорода, окисляемость, содержание хлоридов, сульфатов и др.);

– санитарно-энтомологические оценки - синантропных (связанных с жильем и бытом) насекомых, в первую очередь мух, во всех фазах их развития (взрослые особи, личинки куколок);

– санитарно-гельминтологические оценки, характеризующие наличие в почве в местах, посещаемых населением, гельминтов (червей, паразитирующих в органах человека, животных и растений, и т. д.);

– санитарно-бактериологические оценки, включая наличие бактерий кишечной группы, а также других микроорганизмов, вызывающих заболевания человека и домашних животных.

Нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям (ПДКп). Это концентрация химического вещества (мг) в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. По своей величине ПДКп значительно отличается от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха. Это отличие объясняется тем, что поступление вредных веществ в организм непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях в незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (воздух, воду, растения).



Для оценки содержания вредных веществ в почве проводят отбор проб на участке площадью 25 м<sup>2</sup> в 3...5 точках по диагонали с глубины 0,25 м, а при выяснении влияния загрязнений на грунтовые воды – с глубины 0,75...2 м в количестве 0,2... 1 кг. В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют ПДКп, рассчитывают временные допустимые концентрации

$$ВДКп = 1,23 + 0,48 ПДКпр,$$

где ПДКп — предельно допустимая концентрация для продуктов питания (овощных и плодовых культур), мг/кг.

Уровень загрязнения почв характеризуется величиной коэффициента концентрации  $K_{Ci}$ , которую определяют из соотношения:

$$K_{Ci} = \frac{C_i}{C_{\phi i}},$$

где  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества в почве;  $C_{\phi i}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества, мг/кг почвы.

Загрязнение обычно бывает полиэлементным, и для его оценки рассчитывают суммарный показатель загрязнения, представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций над фоновым:

$$Z_c = \sum K_{Ci} - (n - 1),$$

где  $K_{Ci}$  – коэффициент концентрации элемента;  $n$  – число элементов с  $K_{Ci} > 1$ .

Величину суммарного показателя загрязнения почв используют для оценки уровня опасности загрязнения территории города. Значение данного показателя до 16 соответствует допустимому уровню опасности для здоровья населения; от 16 до 32 – умеренно опасному; от 32 до 128 – опасному; более 128 – чрезвычайно опасному.

В Беларуси также ведется постоянный мониторинг загрязнения почв городов тяжелыми металлами, и выявляются источники их поступления в почвы. Наиболее значимыми и опасными для здоровья человека загрязнителями почв города являются:

- различные формы пестицидов, привнесенные агроландшафтами включенными в застройку, и характерные в основном для молодых по историческому времени городских территорий;
- органические отходы (жидкие сточные воды животноводческих и птицеводческих комплексов, тепличных комбинатов; промышленные органические отходы; городские сточные воды);
- соли (прежде всего хлориды натрия и кальция, попадающие в почву при зимней обработке дорог и тротуаров);
- вещества, попадающие на почву с загрязненными атмосферными осадками;
- радионуклиды.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается роль почвы в городах?
2. Чем отличаются естественные почвы от городских?
3. Как классифицируются почвы в городе?
4. Что такое биологическая активность грунтов?
5. Что такое биологическая поглотительная способность грунтов?
6. В чем проявляется антропогенное воздействие на геологическую среду города?
7. Какие виды загрязнения почв присутствуют в городах и в чем их опасность?
8. Какие геологические опасные явления в городах известны и в чем их причины?

## МОДУЛЬ 2

### Лекция 4–5. ВОЗДУШНЫЙ БАССЕЙН ГОРОДА

1. *Источники загрязнения атмосферы в условиях урбоэкосистем.*
2. *Характеристика загрязняющих атмосферу городов веществ.*
3. *Процессы формирования состава атмосферного воздуха в населенном пункте.*
4. *Нормирование качества атмосферного воздуха городской среды.*
5. *Физические воздействия и их нормирование в условиях городской среды.*
6. *Мероприятия по защите воздушного бассейна урбанизированных территорий.*

#### **1. Источники загрязнения атмосферы в условиях урбоэкосистем.**

Примерный состав атмосферного воздуха (в объемных процентах в пересчете на сухой воздух): 78,1% – азот; 20,85% – кислород; 0,93% – аргон; 0,033% – диоксид углерода; 0,087% – приходится на долю остальных компонентов (неон, гелий, криптон, ксенон, озон, водород и др). Состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого следующими факторами: климатическими: перемещение воздушных масс (ветер и конвекция), атмосферные осадки; жизнедеятельность животного и растительного мира (особенно лесов и планктона Мирового океана); геохимические явления; хозяйственная деятельность человека; космические процессы.

Атмосфера выполняет следующие *функции*:

1. Содержит кислород, необходимый для дыхания живых организмов;
2. Является источником углекислого газа для фотосинтеза растений;
3. Защищает живые организмы от космических излучений;
4. Сохраняет тепло Земли и регулирует климат;
5. Трансформирует газообразные продукты обмена веществ;
6. Переносит водяные пары по планете;
7. Является средой обитания летающих форм организмов;
8. Служит источником химического сырья и энергии;
9. Принимает и трансформирует газообразные и пылевидные отходы.

*Классификация источников загрязнения в условиях урбоэкосистем.*  
Под источниками загрязнения атмосферы понимают объект, от которого загрязняющие вещества поступают в атмосферу. Источники выбросов в атмосферу подразделяются на две группы: естественные и антропогенные.

**1) Естественные**, обусловлены природными процессами: пыльные бури, массивы зеленых насаждений в период цветения, степные и лесные пожары, извержения вулканов. Примеси, выделяемые естественными источниками: пыль растительного, вулканического, космического происхождения, продукты эрозии почвы, частицы морской соли; туманы, дым и газы от лесных пожаров; газы вулканического происхождения, продукты растительного, животного, бактериального происхождения. Естественные источники обычно бывают площадными и действуют сравнительно коротковременно. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени.

**2) Антропогенные (техногенные)**, являются результатом деятельности человека. Они представляют главным образом выбросы промышленных предприятий и автотранспорта, отличаются многочисленностью и разнообразием видов.

Антропогенные источники выбросов бывают:

– *стационарными* (обусловлены работой промышленных предприятий): высокая или низкая дымовая труба, испарения с поверхности бассейна, пыление при загрузке сыпучих материалов и др.;

– *передвижными* (при движении различных видов транспорта).

*Отличительные особенности стационарных и передвижных источников загрязнения:*

1. Сбросы стационарных источников в отличие от мобильных, происходят, как правило, на большой высоте, вследствие чего производимые ими загрязнения распространяются на большой территории (в зависимости от высоты труб). Эти зоны, накладываясь друг на друга, образуют области устойчивых загрязнений в промышленных районах города, распространяющихся на высоту до 150м и более.

2. В отличие от стационарных источников загрязнение воздушного бассейна автотранспортом происходит на небольшой высоте и практически всегда имеет локальный характер.

3. Доля стационарных источников загрязнения атмосферы городов имеет тенденцию к неуклонному сокращению. Это объясняется не столько ростом автомобильного парка, сколько тем, что уменьшить объем выбросов у стационарных источников значительно проще, чем у автомобилей (газификацией промышленного производства и топливно-энергетического комплекса, установкой газоочистных систем, ликвидацией мелких котельных).

4. Стационарные источники выбрасывают в воздух главным образом сернистый газ, окислы азота, некоторое количество угарного газа, фенолов, серной кислоты и других загрязняющих веществ в зависимости

от специфики промышленного производства города и состава используемого топлива. В целом выбросы автотранспорта значительно более токсичны, чем выбросы, производимые стационарными источниками.

Источники загрязнения бывают: точечные, линейные и площадные; незатененные или затененные.

*Точечные источники* – это загрязнения сосредоточенные в одном месте. К ним относят дымовые трубы, вентиляционные шахты.

*Линейные источники* имеют значительную протяженность. Это аэрационные фонари, ряды открытых окон, автотрассы.

*Площадные источники.* Здесь удаляемые загрязнения рассредоточены по плоскости промышленной площадки предприятия. К площадным источникам относятся места складирования производственных и бытовых отходов, автостоянки, склады горюче-смазочных материалов.

*Незатененные*, или высокие, источники расположены в недеформированном потоке ветра. Это дымовые трубы и другие источники, выбрасывающие загрязнения на высоту, превышающую 2,5 высоты расположенных поблизости зданий и других предприятий.

*Затененные* источники расположены в зоне подпора или аэродинамической тени здания или другого предприятия.

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу подразделяют на организованные и неорганизованные.

Из *организованного источника* загрязняющие вещества поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы и трубы.

*Неорганизованный источник* выделения загрязняющих веществ образуется в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу пыли и газов, в местах загрузки, выгрузки или хранения продукта. К неорганизованным источникам относят автостоянки, склады горюче-смазочных или сыпучих материалов и другие площадные источники.

По режиму работы источников выбросы подразделяются на постоянные, периодические и залповые.

## **2. Характеристика загрязняющих атмосферу городов веществ.**

*Загрязнение атмосферы* – изменение состава атмосферы в результате попадания в нее примесей. *Примесь в атмосфере* – это рассеянное в атмосфере вещество, не содержащееся в ее постоянном составе. *Загрязняющее воздух вещество* – это примесь в атмосфере, оказывающая неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Поскольку примеси в атмосфере могут претерпевать различные превращения, их можно условно разделить на первичные и вторичные.

– *первичная примесь в атмосфере* – примесь, сохранившая за рассматриваемый интервал времени свои физические и химические свойства.

– *вторичная примесь в атмосфере* – это примесь в атмосфере, образовавшаяся в результате превращения первичных примесей.

Распространение загрязняющих атмосферу веществ наблюдается на:

1. Макротерриториальном уровне (крупные страны и регионы) за счет миграции аэрозоли (серная кислота, сульфаты), пыли и т.д.

2. На мезотерриториальном уровне (малые страны, городские агломерации, промышленные районы) при соответствующих метеорологических условиях распространяются сернистые газы, пестициды, соли тяжелых металлов.

3. На микротерриториальном уровне распространяются углеводороды, пыль, окислы азота и др. вещества, миграция которых на большие расстояния затруднена за счет физико-химических особенностей.

Вещества, загрязняющие атмосферу, могут быть твердыми, жидкими или газообразными. Они могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду непосредственно, после химических превращений в атмосфере, либо в сочетании с другими веществами. Газообразные и жидкие загрязняющие вещества могут различаться по химическому составу, например, соединения азота неорганические (азотная кислота) и органические (амины). Одна из наиболее часто употребляемых классификаций твердых загрязняющих веществ – по содержанию вредных примесей: 1-я группа – пыль, содержащая токсичные компоненты, например тяжелые металлы и другие биологически активные токсичные вещества – мышьяк, бериллий, фтор, германий, марганец, ртуть, цианиды, радиоактивные вещества; 2-я группа – пыль без биологически активных токсичных компонентов – пыль с фракциями асбеста, каменноугольная пыль, пыль от агломерирования руды, переработки хлопка, шерсти и др.

В зависимости от размера пыль подразделяется на: крупнодисперсную (размеры частиц выше 10 мкм); среднедисперсную (от 10 до 0,25 мкм); мелкодисперсную (менее 0,25 мкм). Наиболее опасна мелкодисперсная пыль, так как при длительном вдыхании она оседает в легких и бронхах. Средний размер частиц пыли в атмосферном воздухе – 7–8 мкм.

Загрязняющие вещества группируются также по принципу их действия: аллергены, тяжелые металлы, радиоактивные вещества, канцерогены, мутагены.

Классификация веществ, поступающих в атмосферу города с 1 млн. населением (в модели усредненная площадь 300 км<sup>2</sup>).

1. Самая большая доля атмосферных выбросов принадлежит оксиду углерода (CO) и сернистому ангидриду (SO<sub>3</sub>), плотность выбросов этих веществ составляет 800 т в год; значительны также плотность выбросов пыли – около 500 тыс. т в год и окислов азота (NO<sub>x</sub>) – 165 тыс. т в год. Внутригодовое распределение этих выбросов достаточно неравномерно. Максимум поступлений в атмосферу отмечается в зимние месяцы, когда на полную мощность работают тепловые электростанции и котельные.

2. Еще один важный компонент загрязнений приземного слоя атмосферы – углеводороды (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) до 108 тыс. т в год.

3. Группа веществ, поступающих в воздух городов, содержится в количествах, на несколько порядков меньших, чем предыдущие. Это органические вещества (фенолы, спирты, растворители, жирные кислоты, бензол) суммарная масса которых достигает 8 тыс. т в год. Примерно одинаковых количествах (по 5 тыс. т.) выбрасываются в атмосферу сероводород и хлор.

4. Количество выбросов группы наиболее токсичных для человека и объектов живой природы веществ – свинца, ртути, мышьяка, кадмия, бенз(а)пирена составляет от сотен до нескольких тонн в год.

**Оксид углерода (CO)** самая распространенная и наиболее значимая примесь атмосферы. Содержание CO в естественных условиях от 0,01 до 0,2 мг/м<sup>3</sup>. Содержание CO в воздухе крупных городов колеблется в пределах 1 – 250 мг/ м<sup>3</sup>, при среднем значении 20 мг/м<sup>3</sup>. Основная масса выбросов образуется в процессе сжигания органического топлива, прежде всего в двигателях внутреннего сгорания. Наиболее высокая концентрация CO наблюдается на улицах с интенсивным движением, особенно у перекрестков.

**Диоксид серы (SO<sub>2</sub>) и сернистый ангидрид (SO<sub>3</sub>)** в комбинации со взвешенными частицами и влагой оказывают наиболее вредное воздействие на человека, живые организмы, материальные ценности. **Диоксид серы** – бесцветный, негорючий газ, запах которого начинает ощущаться при его концентрации в воздухе 0,3–1,0 мг/м<sup>3</sup>, а при концентрации свыше 3 мг/м<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> имеет острый раздражающий запах. На его долю приходится до 95% от общего объема сернистых соединений, поступающих в атмосферу от антропогенных источников (при сжигании угля, мазута). Диоксид серы в смеси с твердыми частицами и серной кислотой уже при среднегодовом содержании 9,04–0,09 мг/м<sup>3</sup> и концентрации дыма 150–200 мкг/м<sup>3</sup> приводит к увеличению симптомов затрудненного дыхания. При концентрации SO<sub>2</sub> 0,3–0,5 мг/м<sup>3</sup> в результате нарушения фотосинтеза происходит усыхание хвои в течение 2–3 лет. Аналогичные изменения происходят у лиственных деревьев при концентрации SO<sub>2</sub> 0,5–1 мг/м<sup>3</sup>. Также оксид серы ускоряет процессы коррозии металлов, вызывает разъедание строительных материалов, выцветание красок. Длительное воздействие даже относительно низких концентраций сернистого ангидрида увеличивает смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, способствует возникновению бронхитов, астмы и других респираторных заболеваний.

**Углеводороды (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> – пары бензина, метан, пентан, гексан)** являются не столь агрессивными веществами, как сероводород и оксид углерода, однако их длительное действие приводит к нарушению ряда функций организма человека, снижению иммунитета. Основной техногенный источник выбросов углеводородов – автотранспорт. К углеводородам относятся и бенз(а)пирен, образующийся при сгорании органических соединений, при сжигании в производстве и домашнем хозяйстве угля, горючего газа и нефти. Как и другие углеводороды – канцерогенен.

**Оксиды азота (NO<sub>x</sub>)** образуются в процессе горения при высокой температуре путем окисления части азота, находящегося в атмосферном воздухе. Оксиды азота - смесь различных оксидов NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Прежде всего ядовит оксид азота NO<sub>2</sub> – газ желтого цвета, придающий воздуху в городах коричневатый оттенок. Основным источником выбросов NO<sub>x</sub> – двигатели внутреннего сгорания, топки промышленных котлов, печи. NO<sub>x</sub> соединяющиеся при участии ультрафиолетовой солнечной радиации с углеводородами образуют фотохимические окислители (ПАН и другие). Эти окислители – основные составляющие фотохимического смога. Все окислители являются сильными раздражителями, вызывая воспаление глаз, а в комбинации с озоном раздражают носоглотку, приводят к спазмам грудной клетки, а при концентрации выше 3–4 мг/м<sup>3</sup> вызывают сильный кашель, головную боль, рвоту.

**3. Микроклимат города. Процессы формирования состава атмосферного воздуха в населенном пункте.** Микроклимат города – это климат приземного слоя воздуха отдельных участков городской территории. Приземный слой воздуха занимает воздушное пространство двухметровой высоты над уровнем земли. На формирование микроклимата города оказывают влияние:

- изменение рельефа, обусловленное городской застройкой;
- различие теплофизических свойств поверхностей элементов городской застройки и природного окружения;
- различие в альbedo подстилающих поверхностей территории города и окрестностей;
- искусственные потоки теплоты;
- загрязнение воздушного бассейна;
- снижение интенсивности испарения влаги из-за асфальтовых покрытий и зарегулированное<sup>TM</sup> стока атмосферных осадков;
- резкое уменьшение площади поверхности с растительным покровом и естественной почвой и др.

Города, особенно крупные, имеют свой микроклимат, существенно отличающийся от окружающей среды. На метеорологический режим города влияют следующие факторы: 1. изменение альbedo (отношение отраженной радиации к суммарной) земной поверхности, которое для застроенных районов обычно меньше, чем для загородной местности; 2. уменьшение средней величины испарения с земной поверхности; 3. выделение тепла, создаваемого различными видами хозяйственной деятельности; 4. увеличение в черте города шероховатости земной поверхности по сравнению с загородной местностью; 5. загрязнение атмосферы различными примесями, образуемыми в результате хозяйственной деятельности.

Таким образом, архитектурно-планировочные и техногенные особенности городской территории способствуют формированию местного климата, отличного от климата пригородных территорий (таблица 3).

Таблица 3 – Различия климата в крупных городах и прилегающей сельской местности в средних широтах

Метеорологические факторы	В городе, по сравнению с сельской местностью
Радиация общая	на 15–20% ниже
Ультрафиолетовое излучение зимой	на 30% ниже
Ультрафиолетовое излучение летом	на 5% ниже
Продолжительность солнечного сияния	на 5–15% ниже
Температура среднегодовая средняя зимняя	на 0,5–1,0 °С выше на 1–2 °С выше
Продолжительность отопительного сезона	на 10% меньше
Примеси – ядра конденсации и частицы – газовые примеси	в 10 раз больше в 5–25 раз больше
Скорость ветра среднегодовая штормовая штили	на 20–30% ниже на 10–20% ниже на 5–20% чаще
Осадки суммарные в виде снега	на 5–10% больше на 5% меньше
Число дней с осадками меньше 5 мм	на 10% больше
Количество облаков	на 5–10% больше
Повторяемость туманов зимой летом	на 100% больше на 30% больше
Относительная влажность летом иногда	на 8% меньше на 11–20% меньше
Грозы (частота)	в 1,5–2 раза меньше

*Основные закономерности изменения микроклимата в условиях застройки.*

**Тепловой режим.** Температура воздуха испытывает наиболее сильное влияние урбанизации территории и, несомненно, является одним из наиболее ощутимых населением метеопараметром. Температурные различия между урбанизированной территорией и окружающими ее неосвоенными или слабо освоенными ландшафтами зависят от ряда факторов. Прежде всего – это размеры города, плотность застройки его территории и синоптические условия, характер погоды в данный момент времени.

Одной из наиболее значительных особенностей городского климата является возникновение в городе так называемого «*острова тепла*», который характеризуется повышенными по сравнению с загородной местностью температурами воздуха. Возникает это явление сразу по нескольким причинам.



*Во-первых*, в городах уменьшается альbedo подстилающей поверхности вследствие появления на ней зданий, сооружений, искусственных покрытий. Уменьшение альbedo в результате застройки территории приводит к более интенсивному по сравнению с незастроенными территориями поглощению солнечной радиации, накоплению конструкциями зданий и сооружений поглощенного днем тепла с его отдачей в атмосферу в вечерние и ночные часы. Кроме того, на урбанизированных территориях резко уменьшается расход тепла на испарение за счет сокращения площадей с открытым почвенным покровом и занятых зелеными насаждениями, а быстрое удаление атмосферных осадков системами дождевой канализации не позволяет создавать запас влаги в почвах и поверхностных водоемах. Городская застройка также приводит к формированию зон застоя воздуха, при малых скоростях ветра препятствует турбулентному перемешиванию приземного слоя атмосферы и выносу тепла в ее вышележащие слои. Следовательно, теплоотдача застройки за счет ухудшения условий турбулентного перемешивания в приземном слое уменьшается по сравнению с незастроенными территориями, тепло как бы накапливается внутри застройки, приводя к ее перегреву.

*Во-вторых* образованию «острова тепла» на территории города способствует изменение прозрачности атмосферы. Поступающие в атмосферный воздух различные примеси от предприятий и транспорта приводят к существенному уменьшению суммарной солнечной радиации. Но в еще большей степени они уменьшают встречное инфракрасное излучение земной поверхности, что в сочетании с теплоотдачей зданий и промышленных объектов приводит к появлению местного «парникового эффекта» и развитию на территории городов аномалий температуры, т.е. город как бы «накрывается» одеялом из парниковых газов и аэрозольных частиц.

Наиболее ярко контраст температуры город-пригород проявляется в ясную, безветренную погоду и исчезает в ветреную облачную погоду. В вечернее время и первые после захода солнца часы за счет особенностей процессов формирования острова тепла температурный контраст резче, чем в полдень, а летом проявляется лучше, чем зимой при аналогичных синоптических ситуациях.

Средняя температура воздуха в большом городе обычно выше температуры окружающих районов на 1–2 °С, однако ночью при небольшом ветре разность температур может достигать 6–8 °С. Над центрами крупных городов «остров тепла» возвышается на 100–150 м, а в городах меньших размеров – на 30–40 м. Закономерности изменения температуры воздуха при переходе от сельской местности к центральной части города показаны на рисунке 2. На границе раздела «город – сельская местность» возникает значительный горизонтальный градиент температуры, соответствующий «утесам острова тепла», достигающий иногда 4°С/км. Большая часть

города представляет «плато» теплого воздуха с повышением температуры по направлению к центру города. Термическая однородность «плато» нарушается «разрывами» общего характера поверхности в виде областей холода – парки, водоемы, луга и областей тепла – промышленные предприятия, плотная застройка зданиями.

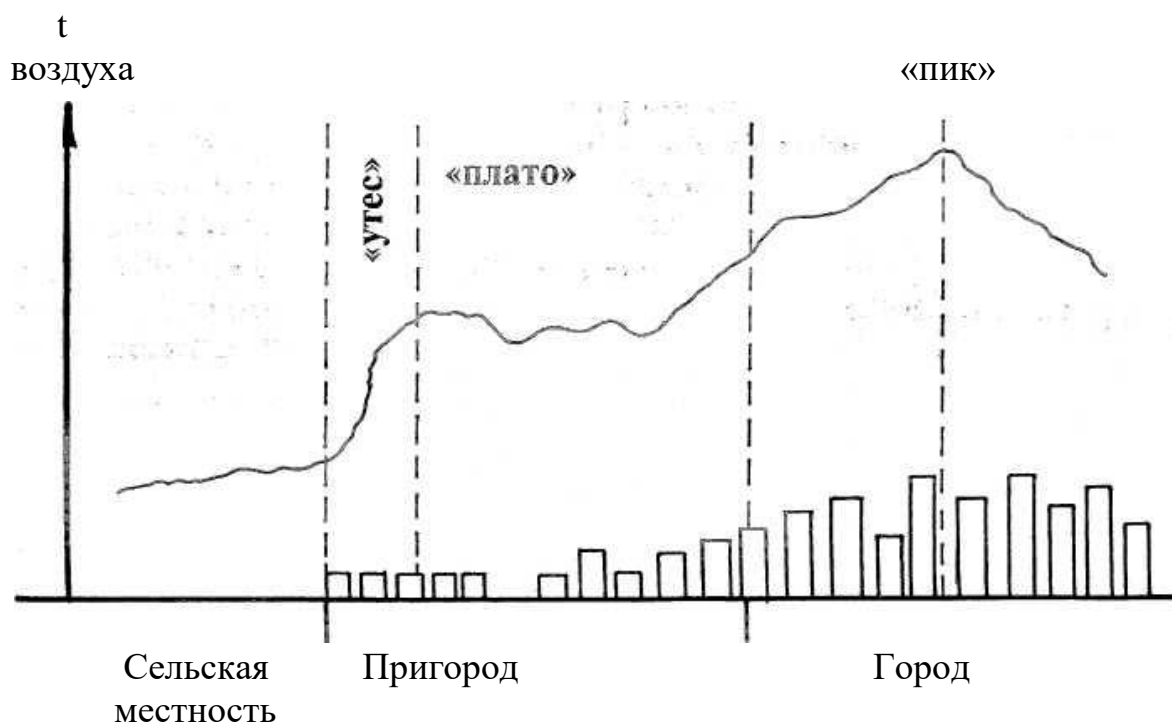


Рисунок 2 – Сечение «острова тепла» над городом

Над центральной частью больших городов располагается «пик острова тепла», где температура воздуха максимальна. В крупных агломерациях может наблюдаться несколько таких «пиков», обусловленных наличием промышленных предприятий.

Формирование «острова тепла» на застроенных территориях имеет целый ряд прямых или косвенных экологических и биоклиматических эффектов и последствий как положительного, так и отрицательного характера. Приведем примеры. Прямой отрицательный биоклиматический эффект «острова тепла» – снижение в летнее время комфортности условий пребывания населения на территории города в результате повышения температуры воздуха в сочетании с уменьшением скорости ветра. В холодное время года биоклиматический эффект носит позитивный характер. За счет тех же факторов, а также за счет повышения абсолютных минимумов температуры дискомфортность условий пребывания населения на открытых пространствах уменьшается.

*Экологические последствия эффекта «острова тепла»:*

– «Смещение» территории города по своим климатическим характеристикам в южном направлении: увеличиваются безморозный и бесснежный

ный периоды на территории города, более раннее наступление вегетационного периода.

– Увеличение числа дней с оттепелями. В холодное полугодие переход температуры воздуха через 0°C создает проблемы не только хозяйственным, дорожно-эксплуатационным службам города, но и состоянию компонентов его природной среды, в первую очередь – зеленой растительности.

**Влажность воздуха, туманы и атмосферные осадки** также изменяются под влиянием городской застройки, однако эти изменения носят менее очевидный характер и являются звеньями более сложной цепи причинно-следственных связей.

*Влажность воздуха* в городе изменяется (на застроенных участках понижается абсолютная и относительная влажность воздуха) под действием нескольких факторов, перечислим основные из них:

– существование на территории города «острова тепла» (с данной анамалией связывают примерно половину величины снижения относительной влажности воздуха);

– снижение проницаемости для осадков подстилающей поверхности и создание инженерных сетей по отводу поверхностного стока с территории города;

– уменьшение испарения в условиях городской среды.

Снижение значения абсолютной влажности воздуха, наблюдается в теплое полугодие на большей части территории городов, расположенных в умеренной климатической зоне. В холодное время года абсолютная влажность в черте города, наоборот, – выше, чем за городом. Это объясняется повышенной температурой воздуха в городе и, как следствие, повышением испарения снежного покрова, а также техногенной эмиссией водяного пара в процессе сжигания органического топлива (конечным продуктом которого является водяной пар).

*Образование туманов* имеет целый ряд физических причин. По генетической классификации выделяют туманы испарения, охлаждения, туманы смешения и туманы восхождения. Для большинства городов умеренной зоны, расположенных на равнинах, наиболее характерны туманы охлаждения, которые подразделяются на: адвективные и радиационные.

**Адвективные туманы** возникают при адвекции теплых воздушных масс на холодную подстилающую поверхность, что приводит к охлаждению воздуха и конденсации влаги. Эти туманы характерны для холодного полугодия. Продолжительность таких туманов может составлять от нескольких часов до суток и более. **Радиационные туманы** связаны с понижениями температуры в ее суточном ходе, чаще всего наблюдаются в теплое полугодие при спокойной ясной погоде в вечерние и утренние часы.

Повторяемость и продолжительность туманов в естественных условиях определяется ходом температуры, количеством влаги в атмосфере,

атмосферными процессами и рельефом местности. В городских условиях эта связь осложняется еще несколькими факторами антропогенного характера, прежде всего – «островом тепла», антропогенной эмиссией водяного пара и наличием в воздухе ядер конденсации. За счет «острова тепла» к центру города повторяемость (число дней с туманами) и продолжительность туманов уменьшается. Опасность туманов для экологии городской среды заключается в том, что капли тумана растворяют находящиеся в атмосфере загрязняющие вещества, которые, взаимодействуя друг с другом и солнечной радиацией, способны образовывать химические соединения, более сложные и опасные для здоровья населения и растений, чем исходные загрязнители атмосферного воздуха.

Своеобразие *формирования облачности и осадков над городом* (по сравнению с аналогичной по остальным параметрам незастроенной территории) определяется двумя антропогенными факторами:

Более развитой конвекцией. Данный фактор играет главную роль летом, стимулируя образование внутримассовых кучевых и кучево-дождевых облаков.

Огромным количеством выбрасываемых в атмосферу гигроскопических ядер конденсации. Присутствие в воздухе ядер конденсации антропогенного происхождения настолько стимулирует процесс осадкообразования в возникающих облаках, что с подветренной стороны может даже наблюдаться заметное (на 2–3 мкм) уменьшение диаметров облачных и дождевых капель, т.е. образование облаков и дождя над городом «опережает» естественное развитие событий.

Второй фактор доминирует над первым зимой, способствуя более быстрой конденсации влаги в слоях, характеризующихся инверсией температуры, поскольку зимой влаги в городском воздухе больше, чем в сельской местности. Для обоих сезонов отмечается увеличение осадков с наветренной стороны городов.

С точки зрения экологических последствий влияния городов на выпадение осадков следует отметить, что зимой отмечается снижение до 5% в выпадении снега, летом наибольшие суммы осадков выпадают над городом, но не в центре, а на окраине.

**Движение воздушных масс.** Поле скорости ветра в условиях города находится под влиянием двух основных факторов: шероховатости подстилающей поверхности (городской застройки) и городских «островов» тепла.

Следует отметить, что влияние городской застройки на среднюю скорость ветра не однозначно. С одной стороны, это связано с тем, что очень часто влияние застройки «маскируется» особенностями рельефа города. С другой стороны, пространственная структура в застройке такова, что не дает возможности говорить о «непрерывности» ветровых полей, характеризуется их сильной контрастностью. Так, например, зоны застоя воздуха,

формирующиеся в периметрально-замкнутой застройке или в отдельных дворах чередуются со струйными течениями вдоль застроенных сплошным фронтом «каньонов» городских магистралей, а «погашенная» у поверхности земли скорость ветра может компенсироваться усилением скорости ветра, обтекающего высотные здания. Многоэтажная застройка вдвое и более уменьшает скорость ветра. Но в некоторых случаях возможно усиление ветра, например, в городах, располагающихся на холмистой местности или при совпадении направления ветра с направлением улицы («эффект аэродинамической трубы»). Высокие здания могут способствовать образованию нежелательных вихревых потоков, обтекающих стены здания.

Суммарный эффект воздействия урбанизированной территории на скорость ветра в большинстве случаев выражается в увеличении числа безветренных ( $v < 2$  м/с) дней в городе и снижении максимальной скорости ветра в среднем на 10–30% по сравнению с пригородной незастроенной территорией. Причем чем больше площадь города и чем выше плотность застройки, тем устойчивее ее влияние на скорость ветра.

С эффектом «островов тепла» связано локальное увеличение интенсивности циркуляции конвекционных потоков воздуха. При этом значительно – на 20% по сравнению с сельской местностью – уменьшается горизонтальное движение воздушных масс, и усиливается восходящее движение над городом, напоминающее бриз. Восходящие токи воздуха над городом вызывают в тихую погоду приток прохладного воздуха от периферии к центру, получившего название «сельского бриза». Движению воздуха способствует и различное нагревание городских улиц, зданий, обуславливающее местную циркуляцию воздуха. В ней восходящий поток образуется над поверхностью освещенных стен, а нисходящий – над затененными стенами и частями улиц или дворов. В результате по ночам (максимум развития «острова тепла») ветер в городе ослабляется не так сильно, как днем, и временами может быть даже больше, чем в пригородной зоне, со всеми вытекающими из этого последствиями: уменьшение вероятности утренних туманов, повышение ночных минимумов температуры воздуха и уменьшение повторяемости приземных инверсий.

С учетом реально сформировавшихся климатических условий города и условий природно-климатической зоны проводят мероприятия по улучшению городского климата, которые условно могут быть разделены на следующие группы:

- 1) Мероприятия по регулированию скорости ветра и вентиляции города (планировка городской застройки и улиц, ориентация зданий, создание древесно-кустарниковых и травянистых насаждений различного типа, систем водоемов и т.д.).

- 2) Мероприятия по уменьшению потерь тепла зданиями (конструкция окон, ориентация зданий, планировочные решения, касающиеся взаимного расположения зданий и групп зеленых насаждений).

3) Мероприятия по регулированию относительной влажности воздуха (создание водоемов и водотоков, увеличение площади поверхности с естественным проницаемым покровом, полив зеленых насаждений, мойка улиц и площадей и т.п.).

4) Мероприятия по борьбе с загрязнением воздушного бассейна путем расположения загрязняющих объектов вне городской черты или с подветренной части городов, переходом на менее токсичные виды топлива, использованием более экономичных установок для сжигания топлива, регулированием или прекращением выбросов вредных веществ при неблагоприятных метеоусловиях вплоть до приостановки работы предприятий, переходом на безотходные или замкнутые циклы производства, предотвращением пыления в промышленности, строительстве, транспорте.

5) Мероприятия по регулированию поступления солнечной радиации (планировка улиц и кварталов, зеленых насаждений, использование разноразмерной застройки, окраска стен, крыш и мостовых, конструкция зданий и их элементов и т.п.).

Все эти мероприятия должны использоваться интегрировано. Использование лишь отдельных элементов не может значительно улучшить условия проживания людей в городах.

#### **4. Особенности рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.**

Существенной особенностью крупных городов с населением более 500 тыс. человек является то, что с увеличением территории города и численности его жителей в них неуклонно возрастает дифференциация концентраций загрязнения в различных районах:

- невысокие уровни концентрации в периферийных районах;
- резкое увеличение концентрации загрязнения в зонах крупных промышленных предприятий;
- значительная концентрация загрязнения в центральных районах города, несмотря на отсутствие в них крупных промышленных предприятий. Это вызывается несколькими причинами. Во-первых, интенсивным движением автотранспорта. Во-вторых, тем, что в центральных районах воздух на несколько градусов выше, чем в периферийных, – это приводит к появлению над центрами городов восходящих воздушных потоков, засасывающих загрязненный воздух из промышленных районов, расположенных на ближней периферии.

Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере.

На процесс рассеивания загрязняющих веществ существенное влияние оказывают следующие факторы: состояние атмосферы, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота и диаметр источника выбросов, расположение источников, рельеф местности. Рассмотрим *влияние климатических условий на рассеивание примесей в атмосфере городов.*

Наибольшее влияние оказывает режим ветра и температуры (температурной стратификации), количество и режим осадков, туманы, солнечная радиация.

*Ветер* может оказывать различное влияние на процесс рассеивания примесей в зависимости от скорости, типа источника и характеристики выбросов. *Рассеивание выбросов в зависимости от скорости ветра и типа источника.* Чем выше скорость ветра, тем быстрее происходит рассеивание выбросов. Однако эта прямая зависимость проявляется только на небольшой высоте от поверхности. Поэтому существует такое понятие как «опасная скорость ветра». При высоких выбросах порог «опасной скорости ветра» повышается до 4–7 м/сек, при низких выбросах – 1–2 м/сек. В воздухе городских агломераций различают два слоя повышенной концентрации загрязняющих веществ в зависимости от скорости ветра:

– первый характерен для низких выбросов (в основном автотранспорта);

– второй для высоких выбросов крупных промышленных предприятий.

*Рассеивание примесей в зависимости от характеристики выбросов.* Если выбрасываемые газы перегреты относительно окружающего воздуха, то они обладают начальной высотой подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующих подъему факела и уносу примесей вверх. Этот подъем обуславливает уменьшение концентрации примеси у земли. При холодных источниках в сочетании со слабым ветром повышенный уровень загрязнения наблюдается в приземном слое.

*Температурная стратификация.* Уровень приземной концентрации газовых выбросов зависит также от температурной стратификации атмосферы. Если температура окружающего воздуха понижается с высотой так, что его вертикальный градиент больше адиабатического (что наблюдается в случае сильного нагрева поверхности земли), то движущийся снизу объем воздуха получает ускорение. Нагретые конвекционные струи при этом поднимаются вверх, а взамен их вниз опускаются холодные потоки воздуха. Такие условия называются неустойчивыми конвективными.

Если вертикальный температурный градиент воздуха близок к нулю или становится отрицательным (т.е. температура с высотой возрастает), то вертикально поднимающийся объем воздуха оказывается холоднее окружающих масс, и его движение затухает. Такие условия называются устойчивыми инверсионными.

Инверсии температуры могут начинаться от поверхности земли (приземная инверсия) или с некоторой высоты (приподнятая инверсия). Они препятствуют перемешиванию воздуха и способствуют накоплению в приземном слое примесей, включая и продукты конденсации влаги в воздухе, образующие туманы, дымку, низкие облака. Влияние температурной инверсии и застоев воздуха на формирование опасных уровней загрязнения воздуха в приземном слое проявляется по-разному в зависимости от типа источника загрязнения и параметров выброса. Для Минска

количество дней с приземными инверсиями составляет 150–165 дней, с приподнятыми – 80–90 дней в году (Челноков, 2001).

Схемы распространения в атмосфере примесей в зависимости от вида инверсии и характеристики выбросов показаны на рисунок 3. При низких источниках (трубах) с холодными выбросами наибольшие концентрации примесей в приземном слое создаются при отсутствии ветра или слабом ветре (1–2 м/с) в сочетании с приземной инверсией. При этом максимальное загрязнение воздуха наблюдается непосредственно у источника. Максимальные загрязнения от высоких источников с горячими выбросами создаются при приподнятых инверсиях и наличии под инверсией слоя турбулентного перемешивания воздуха, способствующего переносу примесей от труб вниз. При этом, чем ниже под трубой граница слоя с инверсией температуры, тем сильнее загрязнение воздуха в приземном слое. Максимум загрязнения находится на некотором расстоянии от источника по направлению ветра.

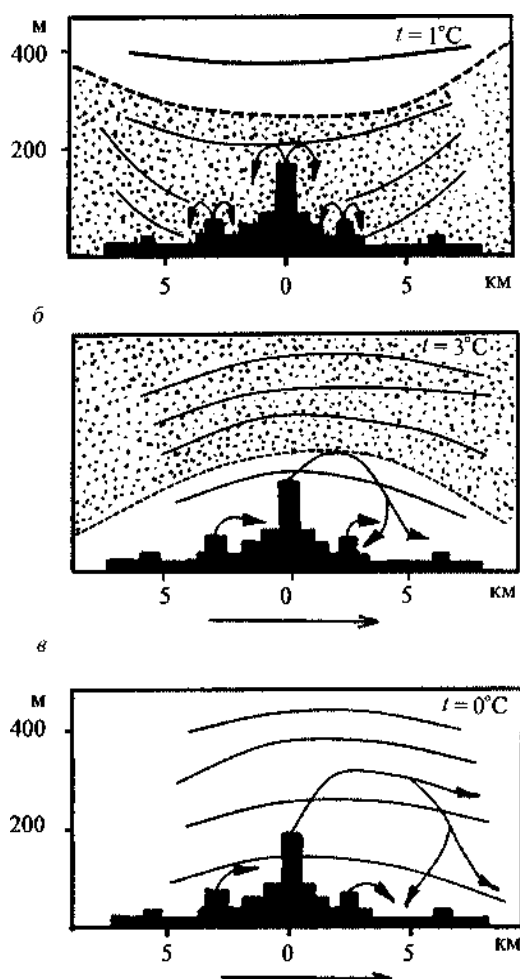


Рисунок 3 – Схемы распространения в атмосфере загрязняющих веществ от организованных источников выбросов:

*а* – при приземных инверсиях; *б* – при приподнятых инверсиях;  
*в* – при безинверсионном состоянии атмосферы (Челноков, Ющенко, 2001)



Высокое загрязнение воздуха может образоваться и при отсутствии инверсий и даже в тех случаях, когда в пограничном слое атмосферы (до 1–1,5 км) вертикальный градиент температуры больше 1°С на 100 м высоты. В таких случаях высокое загрязнение воздуха в приземном слое возникает при сильном ветре. Максимум его находится на расстоянии нескольких километров от источника.

Для количественного выражения состояния устойчивости атмосферы используют соотношение вертикального температурного градиента и скорости ветра, так называемый критерий стратификации атмосферы А. Этот критерий используется при всех расчетах рассеивания примесей в атмосфере. Устойчивость атмосферы может быть слабой, умеренной и сильной.

Туманы. Капли тумана поглощают примесь, причем не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих, наиболее загрязненных слоев воздуха. Вследствие этого концентрация примесей сильно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. Растворение сернистого газа в каплях тумана приводит к образованию сернистой кислоты.

Осадки. Способствуют вымыванию загрязняющих веществ из атмосферы. После длительных интенсивных осадков высокие концентрации примесей в атмосфере практически не наблюдаются. Исключение составляют морозящие дожди, способствующие концентрациям загрязняющих веществ, вследствие повышения влажности воздуха.

Солнечная радиация. Обуславливает фотохимические реакции в атмосфере с образованием различных вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие от источников выброса. Например, окисление сернистого газа с образованием аэрозолей.

Таким образом, совокупность ряда метеорологических условий может создать крайне неблагоприятные ситуации. Для состояния атмосферы в городах наибольшую опасность представляет приземная инверсия в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация «застоя воздуха». Образованию фотохимических оксидантов способствуют: обилие солнечной радиации (свыше 400 кал/см<sup>2</sup>), температурные инверсии и малая скорость ветра.

Суммарная оценка воздействия перечисленных выше метеорологических факторов, определяющих условия рассеивания и накопления вредных примесей в атмосфере, наиболее часто интегрируется одним показателем: **метеопотенциалом загрязнения воздуха (К<sub>м</sub>).**

$$K_M = \frac{P_{ш} + P_T}{P_O + P_B},$$

где  $P_{ш}$  – повторяемость скоростей ветра 0–1 м/с, %;  $P_m$  – повторяемость дней с туманами, %;  $P_o$  – повторяемость дней с осадками более 0,5 мм, %;  $P_b$  – повторяемость скоростей ветра более 6 м/с, %.

Другим комплексным показателем, характеризующим способность атмосферы рассеивать примеси, является потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), включающий комплекс метеофакторов (таблица 4). Для специальных эоклиматических исследований определяют числовое значение величины ПЗА (П), которое показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения атмосферы в конкретном районе ( $q_i$ ), определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий, будет выше, чем в условном ( $q_0$ ).

К неблагоприятным метеорологическим условиям (НМУ) относятся туман, штиль, слабый ветер, повышение температуры воздуха в слое атмосферы над источником выбросов, неблагоприятное направление ветра и другие подобные метеорологические условия, способствующие увеличению загрязнения атмосферного воздуха.

Таблица 4 – Показатели потенциала загрязнения атмосферы

ПЗА	Приземные инверсии			Повторяемость, %		Высота слоя перемешивания, %	Продолжительность тумана, %
Низкий	20–30	0,3–0,4	2-3	10–20	5–10	0,7–0,8	80–350
Умеренный	–	0,4–0,5	3–5	20–30	7–12	0,8–1,0	100–500
Повышенный:							
Континентальный	–	0,3–0,6	2–6	20–40	3–18	0,7–1,0	100–600
Приморский	–	0,3–0,7	2–6	10–30	10–25	0,4–1,1	100–600
Высокий	–	0,3–0,7	3–6	30–60	10–30	0,7–1,6	50–200
Очень высокий	–	0,3–0,9	3–10	50–70	20–45	0,8–1,6	10–600

При НМУ может сложиться обстановка, способствующая повышению концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В этом случае необходимо предпринимать организационные и технические мероприятия по регулированию выбросов загрязнителей в атмосферу. При НМУ природопользователи обязаны производить регулирование выбросов в атмосферу в соответствии с планами мероприятий на период НМУ и соответствующими ТИПА.

Прогнозы и предупреждения об ожидаемом повышении уровня загрязнения атмосферного воздуха разрабатываются РЦРКМ и в зависимости от опасности могут быть первой, второй и третьей степени. При получении сообщения соответствующей степени природопользователь должен перейти на один из трех режимов работы, позволяющий сократить концентрацию загрязняющих веществ в приземном слое воздуха на 15–20% (по 1-му режиму), 20–40% (по 2-му режиму) и 40–60% (по 3-му режиму).

Механизм прогнозирования НМУ состоит из расчета параметра Р, анализа аэросиноптических данных, прогноза НМУ и составления штор-

мового предупреждения. Параметр  $P$  является мерой фонового загрязнения воздуха и изменяется в зависимости от метеоусловий:

$$P = t / n,$$

где  $t$  - количество наблюдений в течение дня с концентрациями приоритетных примесей, превышающих среднесезонные в 1,5 раза;  $n$  - общее число наблюдений за концентрацией примесей на всех стационарных постах мониторинга города в течение дня.

Для каждого города имеется перечень приоритетных примесей, по которым рассчитывается параметр  $P$ . Например, для Минска берутся следующие загрязнители: пыль, диоксиды серы и азота, оксид углерода, фенол, формальдегид, аммиак. Предупреждения составляются при величине фактического параметра  $P > 0,30$  и ожидаемых НМУ, способствующих накоплению примесей в атмосфере; затем они передаются потребителям разными видами связи по трем степеням опасности, соответствующих трем режимам работы предприятий в условиях НМУ.

Предупреждение первой степени опасности составляется при фактически наступившем повышенном уровне загрязнения ( $P > 0,30$ ), при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше ПДК.

Предупреждение второй степени опасности, соответствующее 2-му режиму работы предприятия, составляется в том случае, если ожидаются следующие метеоусловия:

- слой термодинамического перемешивания менее 500 м, но больше высоты источника в сочетании со скоростью ветра, близкой к опасной для данного источника;
- туман и штиль (для холодных выбросов);
- туман и скорость ветра больше 2 м/с (для горячих выбросов);
- штиль в сочетании с приземной инверсией (для низких источников).

Предупреждения второй степени опасности составляются при фактически наступившем высоком уровне загрязнения ( $P > 0,50$ ), при этом обнаруживаются концентрации одного или нескольких контролируемых веществ выше трех ПДК, а также, если после передачи предупреждения первой степени опасности поступающая информация о степени загрязнения атмосферы показывает, что принятые меры не обеспечивают необходимого качества атмосферы.

Предупреждение третьей степени опасности, соответствующее 3-му режиму работы предприятия, составляется в случае, когда после передачи предупреждения второй степени поступающая информация показывает, что при сохраняющихся метеоусловиях принятые меры не обеспечивают

необходимого качества атмосферы, при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких вредных веществ выше пяти ПДК.

При градостроительном проектировании необходимо проводить комплексную экологическую оценку микроклиматических условий территории города.

**4. Нормирование качества атмосферного воздуха городской среды.** *Качество атмосферного воздуха* – это совокупность его свойств, определяющих степень воздействия химических, физических и биологических факторов на окружающую среду.

Качество атмосферного воздуха определяется поступлением загрязняющих веществ от антропогенных и природных источников выбросов в результате локального, регионального и трансграничного воздействия. Государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (далее – Белгидромет) осуществляется система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха с оценкой его качества и своевременным выявлением негативных воздействий природных и антропогенных факторов. Мониторинг атмосферного воздуха является одним из видов мониторинга НСМОС и проводится в непрерывном и дискретном режимах в пунктах наблюдений, включенных в Государственный реестр пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

При нормировании качества городской среды необходимо соблюдение экологических нормативов, которые обеспечивают: экологическую безопасность населения; сохранение генетического фонда человека, растений и животных города; рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития.

В соответствии с законодательством Республики Беларусь для характеристики качества атмосферного воздуха используются следующие нормативы:

- ПДК и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха;
- экологически безопасных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе особо охраняемых природных территорий, отдельных природных комплексов и объектов особо охраняемых природных территорий.

В настоящее время используется несколько видов ПДК: максимальная из разовых (ПДК<sub>мр</sub>), среднесуточная (ПДК<sub>срсут</sub>) и ПДК для воздуха рабочей зоны (ПДК<sub>р з</sub>).

В случае отсутствия значений ПДК для населенных мест могут применяться ОБУВ. Они определяются расчетным путем по физико-химическим свойствам или по показателям острой опасности веществ. Значения ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утвер-

ждения или заменяться ПДК с учетом накопленных данных о соотношении здоровья работающих и условий труда.

*Предельно допустимая концентрация вещества в атмосфере* – это максимальная концентрация примеси, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает вредного действия на него, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

В справочниках приводятся значения максимальной из разовых концентраций и максимальной из среднесуточных концентраций.

*Разовая концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по пробе, отобранной за 20–30-минутный интервал времени.

*Среднесуточная концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по среднесуточной пробе, которая представляет собой пробу воздуха, отбираемую в течение 24 ч непрерывно или с равными интервалами между отборами, но не менее четырех раз в сутки.

В некоторых случаях используют среднемесячные и среднегодовые концентрации примесей в атмосфере.

*Среднемесячная концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение из среднесуточных концентраций или из разовых концентраций, измеряемых по полной программе контроля (не реже четырех раз в сутки) не менее 20 суток в месяц.

*Среднегодовая концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение из среднесуточных концентраций или из разовых концентраций, измеряемых по полной программе контроля не менее 200 суток в год.

Биологическое загрязнение атмосферного воздуха микроорганизмами и микроорганизмами-продуцентами производств ферментов, аминокислот, кормовых, пивных и пекарских дрожжей, медпрепаратов нормируется количеством клеток на  $1 \text{ м}^3$  воздуха.

В соответствии с гигиеническими нормативами для оценки загрязнения воздуха можно применять комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), учитывающий классы опасности, стандарты качества и средние уровни загрязнения воздуха.

Выбор веществ для расчета ИЗА производится с помощью предварительного сопоставления убывающего вариационного ряда величин ИЗА, рассчитанных для 5–6 приоритетных примесей.

Уровень загрязнения атмосферы считается высоким, если средние значения концентраций превышают средние по республике, или ИЗА превышает 9; повышенным, если концентрации примеси в отдельных случаях превышают ПДК<sub>ср</sub> сут и ПДК<sub>м</sub>; низким, если среднегодовые концентрации примеси находятся в пределах или ниже ПДК<sub>ср</sub> а максимальные из разовых только в отдельных случаях превышают допустимые нормы.

Концентрации примесей в атмосферном воздухе определяются на стационарных, маршрутных или подфакельных постах с помощью

различных воздухоотборных устройств и соответствующих методов и средств измерения.

Некоторые вещества при одновременном присутствии в атмосферном воздухе обладают однонаправленным действием, т.е. эффектом суммации. В этом случае при оценке качества атмосферного воздуха должно выполняться следующее условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  - концентрация каждого из веществ, обладающих эффектом суммации, мг/м<sup>3</sup>;  $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_3, \dots, ПДК_n$  - предельно допустимые концентрации этих веществ.

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, устанавливают нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух. ПДВ устанавливают из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками не создают приземную концентрацию, превышающую ПДК за пределами санитарно-защитной зоны:

$$C + C_{\phi} < ПДК,$$

где  $C$  – концентрация вещества в приземном слое от расчетного источника при сохранении норматива ПДВ,  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация этого же вещества.

Если на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс (ВСВ). Норматив ВСВ устанавливают на период разработки и реализации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ. Срок действия норматива ПДВ, как правило, не превышает 5 лет. При появлении новых производств, реконструкции действующих, изменении технологического процесса или вида используемого сырья и в других аналогичных случаях нормативы ПДВ подлежат пересмотру.

Для каждого города на основании нормативов ПДВ предприятий и фонового состава атмосферного воздуха разрабатывают общегородские нормативы ПДВ, в соответствии с которыми индивидуальные ПДВ предприятий могут быть пересмотрены в сторону уменьшения.

Состояние атмосферы городов отражают на картах. По состоянию воздушного бассейна территории делят на три группы: 1) с благоприятными условиями ( $ПДК < 0,5$ ); 2) условно благоприятными ( $ПДК \geq 1$ ); неблагоприятными ( $ПДК > 1$ ).

## **6. Физические воздействия и их нормирования в условиях городской среды.** Физическое загрязнение среды:

1. Акустическое воздействие (шум);
2. Вибрации;
3. Ионизирующие излучения: радиационное воздействие (потoki  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  частиц); электромагнитные излучения длиной волны менее  $10^{-7}$  см;
4. Неионизирующие излучения: электромагнитный спектр с длиной волны более  $10^{-7}$  см. Магнитные, электрические и электромагнитные поля и излучения.

**Шумовое загрязнение.** Шумовое загрязнение вносят железнодорожные поезда, трамваи, автомобили, самолеты, крупные предприятия, строительные процессы и др. Воздействие шума на человека определяется уровнем и высотой звуков, составляющих шум, а также продолжительностью его воздействия.

Шум в 0 дБ (децибел) – создает зимний лес в безветренную погоду;

Шум в 1 дБ еле уловим человеком с исключительно острым слухом;

Шум в 10 дБ принимают за порог слышимости для большинства людей с нормальным слухом – шум от нормального дыхания человека;

Шум в 20 дБ создает шепот.

Отдых и сон считаются полноценными, когда шум не превышает 25–30 дБ. Кратковременно допустим шум в 80 дБ, более сильный шум вреден. Болевой порог, за которым возможно непосредственное повреждение слухового аппарата, лежит в пределах 120–130 дБ.

Уровень уличных шумов обуславливается:

интенсивностью, скоростью и характером (составом) транспортного потока;

он зависит от планировочных решений (продольный и поперечный профиль улиц, высота и плотность застройки) и таких элементов благоустройства, как покрытие проезжей части и наличие зелёных насаждений. Каждый из этих факторов способен изменить уровень транспортного шума в пределах до 10 дБ;

от увеличения в общем потоке автотранспорта грузовых автомобилей, особенно большегрузных с дизельными двигателями.

Шум, возникающий на проезжей части магистрали, распространяется не только на примагистральную территорию, но и вглубь жилой застройки. Так, в зоне наиболее сильного воздействия шума находятся части кварталов и микрорайонов, расположенных вдоль магистралей общегородского значения (эквивалентные уровни шума от 67,4 до 76,8 дБ). Уровни шума, замеренные в жилых комнатах при открытых окнах, ориентированных на указанные магистрали, всего на 10–15 дБ ниже.

Шум от двигателя резко возрастает в момент его запуска и прогрева (до 10 дБ). Движение автомобиля на первой скорости (до 40 км/ч) вызывает излишний расход топлива, при этом шум двигателя в 2 раза превы-

шает шум, создаваемый им на второй скорости. Значительный шум вызывает резкое торможение автомобиля при движении на большой скорости.

*Нормирование шума в условиях городской среды:*

При гигиеническом нормировании в качестве допустимого устанавливаются такой *уровень шума*, влияние которого в течение длительного времени не вызывает изменений во всём комплексе физиологических показателей, отражающих реакции наиболее чувствительных к шуму систем организма.

Уровень шума около зданий в дневное время не должен превышать 55 дБ, ночью (с 23 до 7 ч утра) – 45 дБ. Для территорий, прилегающих к санаториям и больницам значение на 10 дБ ниже, для гостиниц и общежитий на 5 дБ. В квартирах – соответственно 40 и 30 дБ.

Суммарный шум от больших транспортных потоков достигает высокого уровня (90–95 дБ) и стоит на магистралях почти круглосуточно.

В соответствии со спектральным составом шумы делятся на:

1) низкочастотные до 30 Гц – шумы, проникающие через стены, перекрытия. Допустимый уровень – 90–100 дБ.

2) Среднечастотные шумы – звук с частотой 300–800 Гц. Шумы большинства машин, станков. Допустимый уровень – 85–90 дБ.

3) Высокочастотные – звуки с частотой более 800 Гц. Это звенящие, свистящие шумы, характерные для агрегатов ударного действия. Допустимый уровень – 75–85 дБ.

Дополнительный критерий – разборчивость речи, которая должна быть удовлетворительной в условиях шумов всех трех классов. Речь произносится голосом нормальной громкости в 1,5 м от говорящего.

Мероприятия по защите от автомобильного шума.

*Организационные мероприятия.* К ним относится создание нормативно-методической базы в области проектирования, эксплуатации и мониторинга за шумоизлучающими объектами, а также разработка законодательных мер, обеспечивающих правовые основы деятельности организаций и лиц, контролирующих соблюдение норм по шумовому загрязнению.

*Инженерно-технические мероприятия.* К ним относятся конструктивные и проектные решения, предусматривающие максимальное снижение звуковой мощности оборудования.

*Архитектурно-планировочные мероприятия.* К градостроительным мероприятиям по защите населения от шума относятся:

– увеличение расстояния между источником шума и защищаемым объектом, рациональная застройка магистральных улиц;

– использование шумозащитных полос озеленения. Снижение уровня шума зелеными насаждениями зависит от их конструкции, породного состава и ширины.

Существенный защитный эффект достигается в том случае, если жилая застройка размещена на расстоянии не менее 25–30 м от автомагистралей и зоны разрыва озеленены. При замкнутом типе застройки защищенными оказываются только внутриквартальные пространства, а внешние



фасады домов попадают в неблагоприятные условия, поэтому подобная застройка автомагистралей нежелательна.

*Строительно-акустические шумозащитные мероприятия.* В первую очередь это экранирование источников шума. Экранами могут служить: стены из шумопоглощающего материала; нежилые здания, размещаемые между жилой застройкой и источниками шума; предприятия торговли, многоэтажные гаражи, административные здания, где установлены неоткрываемые оконные блоки, шумозащитные жилые дома. В последнем случае применяют два основных приема организации шумозащиты – планировочный и конструктивный. Шумозащитная планировка жилого дома заключается в том, что защищаемые от шума помещения размещаются только по одному фасаду, который ориентируется в сторону, противоположенную источнику шума. На обращенный в сторону источника фасад выводятся окна подсобных помещений, кухонь, лифтовых холлов, других подсобных помещений. На этот фасад допускается выводить окно одной из комнат 3-комнатных квартир и квартир с большим числом комнат. Примером конструктивных решений может служить установка шумозащитных стеклопакетов с вентиляционными клапанами.

**Вибрации** – малые механические колебания низкой частоты, возникающие в телах под воздействием переменного физического поля. Вибрации возникают: при движении рельсового транспорта, автомобилей; при эксплуатации метрополитенов неглубокого залегания.

По способу передачи на человека различают общую и локальную вибрации. *Локальная вибрация* передается в основном на руки человека. *Общая вибрация* передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека и вызывает сотрясение всего организма. Она делится на несколько категорий: транспортная вибрации (источник – автомобили, рельсовый транспорт); транспортно-технологическая (источники – экскаваторы, бульдозеры, асфальтоукладчики); технологическая (к ее источникам относят все стационарное шумоактивное оборудование).

Нормы общей вибрации установлены в октавных диапазонах со среднегеометрическими частотами 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц, а локальной вибрации – 16; 32; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц. По степени допустимого воздействия различают вибрацию на рабочих местах (воспринимаемую человеком при выполнении своих производственных обязанностей), вибрацию в жилых и общественных зданиях (создаваемую вспомогательным технологическим оборудованием и транспортом). В первом случае ПДК вибрации – это уровень, который при ежедневной работе, в течение всего рабочего стажа и в отдельные сроки жизни не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья. ПДК вибрации для жилого помещения – это уровень вибрации, который не должен вызывать у человека беспокойства и существенных показателей функционального состояния при любых сроках воздействия. Для предотвращения воздействия вибрации на

организм человека применяются различные виброгасительные и демпфирующие устройства (амортизаторы, демпферы, рессоры, пружины и т.д.).

**Электромагнитное загрязнение.** Электромагнитные излучения создают периодически меняющиеся в пространстве электромагнитные поля, в которых переменное электрическое и магнитное поле тесно взаимосвязаны. Источники электромагнитного загрязнения в условиях городской среды условно разделяют на:

- точечные (радиостанции, телецентры);
- узловые (промышленные установки);
- линейные (линии электропередач, электрифицированные линии железных дорог).

За последние годы в городах число разнообразных источников электромагнитных полей (ЭМП) резко увеличивается. Это радиотелефоны, радары ГАИ, микроволновые печи, компьютеры и т.д. В Москве только за последние годы уровень электромагнитного загрязнения вырос в 20–30 раз. В Санкт-Петербурге интенсивность ЭМП в 1000 раз превышает внегородской уровень. Обычный уровень низкочастотного электромагнитного поля крупного промышленного города соответствует ситуации природной «магнитной бури». Наиболее чувствительные системы организма человека к ЭМП – нервная, иммунная, эндокринная и половая. Результатом продолжительного воздействия ЭМП даже относительно слабого уровня могут быть раковые заболевания, изменение поведения, склонность к развитию стрессорных реакций, потеря памяти, бессонница, астма, угнетение половой функции, аритмия, хроническая усталость и др. Значительная часть случаев инфаркта миокарда в крупных городах вызвана скачками мощных низкочастотных техногенных электромагнитных полей. Для защиты населения в условиях города устанавливается СЗЗ по обе стороны от линии электропередач (таблица 5).

Таблица 5 – Размеры СЗЗ в зависимости от напряжения в сети ЛЭП

Напряжение в сети	Расстояние
330кВ	20 м
500 кВ	30 м
750 кВ	40 м
1150 кВ	55 м

Источники радиоволнового излучения мощностью более 100 кВт размещаются за пределами населенных пунктов. Если располагаются в черте города, то обязательно создание СЗЗ (строго режима и ограниченного пользования):

- зона строго режима – на ее внешней границе напряженность электромагнитного поля не должна превышать 20 В/м, эта зона ограждена и охраняется;

– зона ограниченного пользования не более 2 В/м. В пределах данной зоны не допускается постройка жилых построек.

Расчетный размер СЗЗ от нескольких метров до 1–2 км. Размер зависит от: суммарной мощности передатчиков, высоты и коэффициента усиления антенны, рельефа местности.

В пределах защитных зон запрещается: размещать жилые и общественные здания, площадки для стоянки и остановки всех видов транспорта, машин и механизмов, предприятия по обслуживанию автомобилей, склады нефти и нефтепродуктов, автозаправочные станции; устраивать свалки; устраивать спортивные площадки, площадки для игр, стадионы, рынки, проводить любые мероприятия, связанные с большим скоплением людей.

**7. Мероприятия по защите воздушного бассейна урбанизированных территорий.** Мероприятия по обеспечению охраны атмосферного воздуха городской среды можно условно разделить на следующие группы:

1. организация санитарно-защитных зон;
2. архитектурно-планировочные решения;
3. инженерно-организационные мероприятия;
4. безотходные и малоотходные технологии;
5. технические средства и технологии очистки выбросов.

*Санитарно-защитные зоны (СЗЗ).*

**СЗЗ** – это зона пространства и растительности, специально выделенная между промышленным предприятием и районом проживания населения. Она обязательный элемент любого объекта, являющегося источником химического, биологического или физического воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

СЗЗ предназначена для:

обеспечения требуемых гигиенических норм содержания в приземном слое атмосферы загрязняющих веществ;

уменьшения отрицательного влияния промышленных предприятий, транспортных коммуникаций, линий электропередач на население;

создания архитектурно-эстетического барьера между промышленностью и жилыми районами;

организации дополнительных зеленых площадей с целью усиления ассимиляции и фильтрации загрязнителей атмосферного воздуха.

Размер СЗЗ до границы жилой застройки следует устанавливать:

– для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками загрязнения атмосферного воздуха – непосредственно от источника загрязнения (труб, шахт, аэрационных фонарей зданий, мест погрузки-разгрузки сырья);

– для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками шума, вибрации, электромагнитных волн, радиочастот – от зданий, сооружений и площадок, где установлено это оборудование;

– для электростанций, котельных – от дымовых труб.

Предприятия с технологическими процессами, не приводящими к выделению в атмосферу загрязняющих веществ, допускается размещать в пределах жилых районов.

**Организация СЗЗ.** В проект организации СЗЗ должны быть включены:

1. характеристика природно-климатических условий;
2. отчеты о почвенном обследовании и изучении лесорастительных условий района озеленения;
3. материалы инвентаризации зданий, сооружений и насаждений;
4. материалы, характеризующие сельхозугодья.

В соответствии с санитарной классификацией промышленных предприятий размеры СЗЗ устанавливаются в пределах от 50 до 2000 м. Для предприятий первого класса опасности – 2000 м, второго класса – 500 м, третьего класса – 300 м, четвертого – 100 м, пятого – 50 м. Размеры СЗЗ уточняются при расчетах рассеивания пылегазовых выбросов и могут оказаться больше или меньше нормативных. Если расчетный размер СЗЗ больше нормативного, то принимаются меры для снижения объема пылегазовых выбросов или размер СЗЗ устанавливается в соответствии с расчетным.

Полученные по расчетам размеры СЗЗ должны уточняться для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле:

$$L = \frac{L_o \times P}{P_o},$$

где  $L$  – расчетный размер СЗЗ,  $L_o$  – расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация веществ (с учетом фоновой) превышает ПДКс.с, м;  $P$  – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба;  $P_o$  – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров, %.

На территории СЗЗ допускается размещение объектов более низкого класса вредности, чем основное производство (склады, гаражи, автостоянки), а также прачечные, бани, пожарные депо, административно-служебные здания, торговые помещения, но не жилые здания.

Территория СЗЗ должна быть благоустроена и озеленена. В соответствии с экологическими требованиями не менее 40% СЗЗ должно быть озеленено. Со стороны селитебной территории надлежит предусматривать полосу древесно-кустарниковых насаждений шириной не менее 50 м, а при ширине зоны до 100 м – не менее 20 м. В СЗЗ наиболее целесообразно комбинировать посадки деревьев и кустарников в виде зеленых полос шириной 20–30 м через каждые 50–100–200 м в зависимости от ширины СЗЗ. Вблизи предприятий с большим количеством выбросов вредных веществ СЗЗ формируется в виде *аэродинамической системы*, состоящей из зеленых защитных полос и открытых пространств между ними. Полосы

целесообразно размещать под углом 80–90° к основному направлению ветра. При этом зона проветривается по многочисленным каналам в горизонтальном направлении. Завихрение воздуха за полосами способствует образованию восходящих потоков и рассеиванию выбросов в наиболее высоких слоях атмосферы. Одновременно защитные полосы и газонные покрытия задерживают пыли и аэрозоли, поглощают вредные газы. Для посадки в СЗЗ используют пылегазоустойчивые породы растений, такие как клен американский, можжевельник казацкий, тополь канадский, крушина ломкая, бузина красная, туя западная и др.

*Архитектурно-планировочные мероприятия включают:*

– выбор площадки для строительства промышленного предприятия: на ровном, возвышенном, хорошо проветриваемом месте.

– взаимное расположение цехов предприятия должно быть таким, чтобы при направлении ветра в сторону жилых кварталов их выбросы не объединялись. Цеха, выделяющие наиболее загрязняющие ядовитые вещества располагают на краю производственной территории со стороны, противоположенной жилому массиву.

– правильное взаимное размещение источников выброса и населенных мест с учетом направления ветров.

– устройство зеленых зон.

*Инженерно-организационные мероприятия:*

– снижение интенсивности и организация движения автотранспорта;

– увеличение высоты дымовых труб;

– повышение скорости движения газов в дымовой трубе. Это способствует увеличению начального подъема выбросов, улучшению условий их рассеивания.

*Безотходные и малоотходные технологии.*

Внедрение безотходных и малоотходных технологий является наиболее перспективным мероприятием, позволяющим: коренным образом снизить уровень загрязнения воздушного бассейна; полнее использовать запасы минеральных ресурсов; обеспечить комплексную переработку первичного сырья и отходов промышленных предприятий; получать дополнительно продукцию и тем самым повысить эффективность народного хозяйства.

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация источников загрязнения атмосферы.
2. Каковы причины и последствия образования острова тепла в городах?
3. Какие климатические факторы способствуют рассеиванию примесей в атмосфере?
4. Какие климатические факторы способствуют концентрации примесей в атмосфере?
5. Перечислите и дайте характеристику возможным физическим воздействиям в условиях городской среды.
6. Перечислите мероприятия по улучшению городского микроклимата.
7. Какие нормативы используются для характеристики качества атмосферного воздуха в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

## Лекция 6. БЫТОВЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТХОДЫ. САНИТАРНАЯ ОЧИСТКА ГОРОДОВ

1. Состав, свойства и объем твердых коммунальных отходов.
2. Обращение с отходами производства и потребления в городах.
3. Утилизация ТКО:
  - Полигоны твердых бытовых отходов.
  - Мусороперерабатывающие и мусоросжигательные заводы.

### 1. Состав, свойства и объем твердых коммунальных отходов.

Производственная и бытовая деятельность человека неминуемо связана с образованием твердых отходов. Если газообразные и жидкие отходы сравнительно быстро поглощаются природной средой, то ассимиляция твердых отходов длится десятки и сотни лет.

Каждый год в Беларуси образуется около 28,5 млн. тонн промышленных и бытовых отходов. Около трети из вышеуказанного количества отходов (9 млн. тонн) – бытовые. В среднем, 1 житель нашей страны в год оставляет 220 кг мусора.

*Проблема отходов – это проблема больших городов, и чем больше город, тем эта проблема острее.*

**Отходы** – неиспользуемые для производства данной продукции отдельные компоненты сырья или возникающие в ходе технологических процессов вещества и энергия, не подвергающиеся утилизации в данном производстве.

**Твердые коммунальные отходы (ТКО)** – непригодные для дальнейшего использования пищевые продукты и предметы быта, выбрасываемые человеком.

Классификация отходов:

*коммунальные* – твердые и жидкие отходы, не утилизируемые в быту, образующиеся в результате жизнедеятельности людей и амортизации предметов быта;

*промышленные* – остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образующиеся при производстве, продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства;

*сельскохозяйственные* – отходы, образующиеся в ходе сельскохозяйственного производства;

*строительные* – отходы, образующиеся в процессе строительства зданий, сооружений (в том числе дорог и других коммуникаций) и производстве строительных материалов;

*потребления* – изделия и машины, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа;

*радиоактивные* – неиспользуемые прямые и косвенные радиоактивные вещества и материалы, образующиеся при работе ядерных реакторов, при производстве и применении радиоактивных изотопов.

Отходы промышленного и сельскохозяйственного производства называются также *производственными отходами*. Они могут быть токсичными (вызывают отравление или иное поражение живых существ) и нетоксичными.

**Морфологический состав.** В состав ТБО входят следующие компоненты: бумага, картон 20–30%, пищевые отходы 28–45%, дерево 1,5–4%, металл черный 1,5–4,5%, металл цветной 0,2–0,3%, текстиль 4–7%, кости 0,5–2%, стекло 3–8%, кожа, резина, обувь 1–4%, камни, фаянс 1–3%, пластмасса 1,5–5%, смет (< 15 мм) 7–18%, прочее 1–3%.

Процентные соотношения морфологического состава ТБО весьма условны, так как на соотношение составляющих оказывают влияние степень благоустройства жилого фонда, сезоны года, климатические и другие условия. В составе ТБО постоянно увеличивается содержание бумаги, пластмасс, фольги, различного рода банок, полиэтиленовых пленок и других упаковок. Особенно велики сезонные колебания пищевых отходов – с 28% весной до 45% и более летом и осенью.

В состав пищевых отходов входят картофельные очистки, отходы овощей, фруктов, хлеба и хлебопродуктов, мясные и рыбные отходы, яичная скорлупа и др. Они содержат крахмал, жиры, белки, углеводы, клетчатку, витамины. Балластные примеси пищевых отходов представлены обломками, боем стекла и фаянса, металлическими крышками и банками.

**Фракционный состав.** Основная масса ТБО представлена фракциями до 150 мм (80–90%) и только менее 2% (балластные примеси) представлены фракциями более 350 мм.

Фракционный и морфологический состав ТБО взаимосвязан: чем больше в ТБО пищевых отходов, имеющих в основном размеры менее 50 мм, тем больше в их составе мелких фракций и наоборот, при увеличении в составе ТБО различных упаковок (картон, дерево, пластмасса, бутылки и др.), имеющих размеры более 150 мм, значительную долю в массе отходов будут составлять крупные фракции. В различные сезоны года фракционный состав меняется.

**Физические свойства ТБО: плотность, связность и сцепление.** *Плотность* ТБО колеблется в зависимости от благоустройства жилого фонда и сезонов года. Чем больше бумаги и различных пластмассовых упаковок, тем меньше плотность ТБО. С увеличением влажности плотность ТБО повышается. В будущем плотность ТБО больших городов за счет увеличения количества различных упаковок снизится до величины, близкой 0,1 т/м<sup>3</sup>. В крупных городах Европы и Америки плотность ТБО близка к этому показателю.

*Связность и сцепление.* Бумага и картон, текстиль и пластмассовые пленки формируют структуру ТБО и придают им механическую связность.

Липкие и влажные компоненты обеспечивают сцепление. Эти свойства ТБО способствуют сводообразованию и зависанию на стенках бункеров и прутьях решеток. Так, через решетку 30x30 см ТБО самостоятельно не проваливаются, и для их проталкивания требуются дополнительные усилия. На стенках бункеров с углами 65–70° происходит налипание и зависание ТБО. При длительном хранении ТБО слеживаются, самоуплотняются и теряют сыпучесть.

**Компрессионные свойства.** Для уменьшения общего объема ТБО при перевозке и складировании на полигонах важно знать их компрессионные свойства, т.е. влияние давления на степень уплотнения. Например, при прессовании ТБО в мусоровозе при удельном давлении, равном 0,1 МПа, их объем уменьшается в 1,5–3 раза. При повышении удельного давления до 0,3–0,5 МПа происходит поломка различного рода упаковок, прессование бумаги и пленок, начинается выдавливание влаги. При повышении удельного давления до 10–20 МПа отжимается 80–90% всей влаги, содержащейся в ТБО при сборе. При этом объем ТБО снижается еще в 2–2,5 раза, а плотность повышается в 1,3–1,7 раза. При дальнейшем повышении удельного давления до 60 МПа происходит почти полное отжатие влаги, но объем практически уже не изменяется. Микробиологическая жизнь в таком материале замедляется.

**Абразивные и коррозионные свойства** (от лат. abrasio – соскабливание и corrosio – разъедание). Соскабливание трущихся поверхностей происходит за счет балластных фракций (металл, бой стекла, фаянса, кости и др.). В связи с этим ТБО обладают абразивностью и могут истирать соприкасающиеся с ними взаимоперемещающиеся поверхности. При контакте с металлами ТБО оказывают коррозирующее воздействие, что связано с их высокой влажностью, наличием в фильтрате растворов различных солей и кислой средой (рН=5–6,5).

**Теплотехнические свойства.** Наличие в отходах большого количества органических веществ обуславливает их теплотворную способность. Теплотворная способность ТКО также зависит от их плотности. Так, при изменении плотности от 0,2 т/м<sup>3</sup> до 0,5 т/м<sup>3</sup> теплотворная способность ТКО снижается с 2000 до 940 ккал/кг.

**Санитарно-бактериологические свойства.** ТКО содержат большое количество влажных органических веществ, которые, разлагаясь, выделяют гнилостные запахи и фильтрат. При высыхании продукты неполного разложения образуют насыщенную загрязнителями и микроорганизмами (от 300 до 15 млрд на 1 г сухого вещества) пыль. В результате происходит интенсивное загрязнение воздуха, почв, поверхностных и грунтовых вод. В среде ТКО наряду с сапрофитными развиваются патогенные бактерии – носители различных заболеваний. Кроме патогенных микроорганизмов, ТБО содержат яйца гельминтов (глистов). Микроорганизмы, обнаруживаемые в ТКО, являются возбудителями гепатита, туберкулеза, дизентерии, аскаридоза, респираторных, аллергических, кожных и других заболеваний.



## **2. Обращение с отходами производства и потребления в городах.**

Охрана городской среды от негативного влияния всех видов отходов производства и потребления является в настоящее время наиболее сложной экологической проблемой. С этой целью в соответствии с действующим законодательством Беларуси субъекты хозяйствования обязаны:

- внедрять в производство экологически чистые, малоотходные, безотходные и ресурсосберегающие технологии;
- максимально использовать отходы производства и потребления;
- проводить лабораторный контроль качества окружающей
- возмещать в полном объеме вред, причиненный окружающей среде, здоровью и имуществу граждан и организаций при нарушении законодательства в области обращения с отходами;
- предоставлять любую информацию по вопросам образования отходов и обращения с ними;
- немедленно оповещать штаб Гражданской обороны (ГО), местные органы власти, а также органы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (далее - Минприроды) и санитарного надзора о случаях попадания опасных отходов в окружающую среду;
- обеспечивать транспортируемые и хранящиеся отходы специальными этикетками со знаками класса опасности, названия отходов, их агрегатного состояния, цвета, запаха, пожароопасных свойств, вида упаковки и специальных требований при обращении с ними, в том числе при аварии, адресом предприятия, где получены эти отходы.

Собственники отходов обязаны разработать и утвердить Паспорт опасности отходов и Инструкцию по обращению с отходами производства.

Обезвреживание отходов должно осуществляться только на объектах обезвреживания отходов, эксплуатация которых производится в соответствии с требованиями, установленными законодательством Беларуси в области обращения с отходами.

Сбор опасных отходов осуществляется с учетом класса опасности: отходы 1-го класса помещаются в тару – стальные баллоны; 2-го класса – в прочные полиэтиленовые мешки. Допускаются также другие виды тары для хранения опасных отходов, согласованные с органами санитарного надзора. Сбор опасных отходов в жидком и пастообразном состоянии осуществляется в герметичные и коррозионностойкие емкости, устанавливаемые в специально отведенном месте. Опасные промышленные отходы после затаривания взвешиваются, результаты вносятся в журнал учета.

В соответствии с действующим законодательством опасные отходы предприятий подлежат временному хранению на их территории, пока не будет разработана технология по их утилизации или не будут созданы региональные полигоны для захоронения этих отходов. Предельное количество накопленных отходов на территории предприятия устанавливается в соответствии с нормативным документом «Предельное количество накопления токсичных промышленных отходов на территории предприятия (организации)».

На полигоны по обезвреживанию и захоронению опасных промышленных отходов принимаются только отходы 1–3-го классов опасности. Твердые промышленные отходы 4-го класса опасности по согласованию с органами санитарного надзора и коммунальными службами могут вывозиться на полигоны для складирования КО. Складирование и захоронение промышленных отходов производится на платной основе на основании разрешений территориальных органов Минприроды.

Наиболее опасными являются такие отходы, которые содержат химически активные загрязнители, способные поступать в питьевую воду или в растения, служащие пищей для человека и сельскохозяйственных животных. Это в первую очередь синтетические яды (биоциды) – соединения ТМ, пестициды, гербициды и прочие стойкие органические соединения, некоторые продукты нефтепереработки - циклические и полициклические ароматические углеводороды и др.

Первостепенной задачей в области охраны городской среды от негативного влияния отходов является удаление и переработка твердых бытовых отходов от населения и других видов ТКО.

Норматив образования коммунальных отходов – это установленное среднее количество КО, образуемое в процессе жизнедеятельности человека или в процессе осуществления экономической деятельности, необходимой для обеспечения жизнедеятельности человека в населенных местах, на расчетную единицу ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ,  $\text{т}/\text{м}^2$  и т.д.).

Нормы накопления отходов – это количество отходов, накопленное за определенный период времени (сутки, год) и отнесенное к расчетной единице (один человек, одно гостиничное место,  $1 \text{ м}^2$  торговой территории и т.д.).

В нашей стране порядок и условия обращения с КО на территории населенных мест устанавливаются местными исполнительными и распорядительными органами по согласованию с соответствующими территориальными органами Минприроды и Министерства здравоохранения Республики Беларусь (далее – Минздрав).

Местные исполнительные и распорядительные органы утверждают для каждого населенного пункта нормативы образования КО (дифференцированные и общие средние), организуют сбор, перевозку, хранение и обезвреживание КО, находящихся на их территории, а также взимание платежей за размещение отходов.

Дифференцированный норматив образования КО устанавливает количество образующихся КО дифференцированно в жилищном фонде по видам благоустройства и объектам обеспечения жизнедеятельности человека в населенных местах в течение определенного промежутка времени на расчетную единицу. Он применяется при выборе системы сбора, в том числе раздельного сбора, определения количества контейнеров, разработке транспортных схем вывоза, расчете лимитов размещения отходов производства, входящих в состав КО, а также при проведении расчетов за оказанные услуги по санитарной очистке. Основными показателями для дифференцированных

нормативов образования КО являются объем, масса, средняя плотность, коэффициенты суточной и сезонной неравномерности образования.

Общий средний норматив образования КО устанавливает общее количество образующихся в течение года КО на территории населенного места на одного жителя. Он используется при планировании системы санитарной очистки населенного места (проектировании объектов по захоронению и переработке КО, определении количества специальной коммунальной техники и работников, расчета расхода горючесмазочных материалов и других затрат на санитарную очистку). Основными показателями для общей средней нормы образования КО являются их средний объем и средняя плотность.

При выборе методов обращения с отходами, широко используемых на практике, следует пользоваться следующими понятиями:

- размещение отходов - хранение и захоронение отходов;
- хранение отходов - содержание отходов на объектах размещения в целях их последующего захоронения, обезвреживания или использования;
- захоронение отходов - изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую природную среду;
- использование отходов - применение отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг или для получения энергии;
- обезвреживание отходов - обработка отходов, в том числе сжигание и обеззараживание их на специализированных установках, в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду.

Рециклинг (повторная переработка) ТКО. Это наиболее прогрессивный и экологически оправданный способ использования отходов, который уже в большинстве развитых стран превратился в особого рода производственную деятельность со своей структурой, специфическими технологиями и аппаратным оформлением как собственно производства, так и его экологической безопасности.

Структура рециклинга состоит:

- из сети предприятий по сбору, обработке и переработки ТКО;
- доставки ТКО на специализированные предприятия по их переработке;
- производства продукции из переработанных ТКО;
- реализации полученной продукции.

Для обеспечения бесперебойной работы этой сети создается соответствующая материально-техническая база.

В основе данного метода лежит метод дифференцированного (раздельного) сбора отходов, при котором осуществляется сортировка отходов по виду с целью максимального дальнейшего извлечения утильных компонентов. При разделении отходов выделяют две категории:

- I категория - отходы, которые могут быть использованы для получения аналогичной продукции (стекло, бумага, металлы, пластмассы и др.);
- II категория - отходы, содержащие опасные или особо ценные компоненты (аккумуляторные батареи, цветные и редкие металлы, некоторые пластмассы и т.д.).

После разделения ТКО на фракции каждая их них поступает на последующую технологическую стадию переработки в конечный продукт. Наибольшим уровнем повторного использования характеризуются ПО, которые, как правило, хорошо разделены, а также та часть КО, для которой централизованно налажен сбор (металлы, макулатура, аккумуляторные батареи, ветошь).

### **3. Утилизация ТКО.**

Основными методами утилизации отходов являются:

- прямое сжигание;
- пиролиз, или высокотемпературное разложение;
- брикетирование и грануляция;
- получение биогаза;
- компостирование.

*Прямое сжигание* – это довольно распространенный и эффективный способ сокращения объемов ТКО в поселениях. Однако с экологической и санитарно-гигиенической точки зрения этот способ представляет собой значительную опасность для городской и пригородной среды.

Мусоросжигающие заводы (МСЗ) являются источниками значительного количества выбросов и технологических отходов, представляющих при несоблюдении ряда технологических требований очень серьезную опасность для окружающей среды и здоровья населения. Такими требованиями являются:

- температура сжигания должна составлять 500–1400 °С;
- продолжительность сжигания должно быть не более 3 с;
- полное сжигание требует обязательного создания турбулентных воздушных потоков.

В зависимости от состава и способа сжигания на 1 т мусора приходится 300–500 кг несгоревших технологических отходов (шлаки, зола, дымовые газы).

Шлаки представляют собой гетерогенный материал очень сложного состава, обладающий специфическими физико-химическими свойствами, в частности высокой адсорбционной и теплотворной способностью. Они составляют обычно 10% объема и 30% массы сжигаемых ТКО, сравнительно безвредны и после определенной очистки (от метана) могут использоваться для дорожного покрытия, строительных материалов, материалов для отсыпки дамб, звукоизоляционных и утеплительных плит.

При сжигании 1 т ТКО в среднем образуется порядка 25–34 кг летучей золы. Около 95–99% ее обычно улавливается очистным оборудованием и вывозится на свалки. Остальная часть золы выбрасывается в атмосферу

вместе с дымовыми газами (водяным паром, оксидами азота и углерода, летучими органическими соединениями).

С золой и дымовыми газами в атмосферу попадают наиболее опасные для человека отходы мусоросжигания - диоксины и фураны, которые присутствуют в самой летучей золе, колосниковых и дымовых газах, воздухе территории МСЗ, в крови персонала предприятий и населения, проживающего в зоне его влияния.

На свалках из неуловленной золы МСЗ диоксины и фураны могут попадать в грунтовые воды. В районах захоронения этой золы они обнаруживаются в молоке коров, коз, в крови домашних животных и птиц, откуда могут попасть в организм человека.

Помимо диоксинов и фуранов в процессе мусоросжигания в атмосферу, почву и водные объекты попадает значительное количество металлов, в том числе и тяжелых, соединения серы, хлора, фтора и другие, объем которых зависит только от номенклатурного состава сжигаемого мусора.

*Пиролиз (высокотемпературное разложение)* - активно развивающийся в последнее время способ утилизации ТКО, направленный на максимальное получение газа и нефтеподобных жидких продуктов. Пиролиз – это термическая обработка ТКО нагреванием без доступа воздуха. Различают низкотемпературный (500–600 °С) и высокотемпературный (свыше 1100 °С) пиролиз.

При таком разложении образуются продукты, которые могут использоваться в хозяйственной деятельности: газообразное топливо, твердый углеродистый остаток и смола. В качестве побочного продукта образуется подсмольная вода. Углеродистый остаток – пирокарбон, содержащий до 30–40% углерода, применяют в качестве заменителя низкосортных графитов, заполнителя асфальтобетонных смесей, низкосортного топлива, сорбента; смола используется как топливо, компонент асфальтобетонных смесей, сырье для производства химических соединений; подсмольная вода - как антисептическое средство, в частности, для пропитки шпал.

Существуют три типа установок по пиролизу: горизонтальные (барбанного типа), вертикальные (шахтного типа) и смешанные. В них перерабатывается некомпостируемая часть ТКО (резина, кожа, текстиль). Поэтому внедрение пиролизных установок способствует созданию малоотходных технологий переработки ТКО.

К недостаткам существующих установок относятся низкая производительность, несовершенная система очистки газообразных продуктов, высокая энергоемкость процесса.

К достоинствам этого метода следует отнести использование газообразных продуктов пиролиза (пара и топливного горючего газа) как в самом процессе пиролиза, так и за его пределами. При этом методе выброс газообразных продуктов в атмосферу резко снижается, в связи с этим пиролизные установки утилизации ТКО можно устанавливать в городской черте.

*Брикетирование и грануляция.* Эти процессы направлены на получение из ТКО твердого топлива. В результате предварительного отбора и высуши-

вания органической фракции ТКО теплота сгорания брикетов и гранул возрастает в 2 раза по сравнению с исходным продуктом, полученное топливо может храниться длительное время, не представляет опасности при хранении и транспортировке. За счет сортировки в таком топливе сокращается количество металлов и токсичных соединений. Такая установка давно работает в Донкастере (Великобритания) и производит 350 тыс. т гранулята каждый год. Значительное количество ТКО в Японии превращается в гранулы, которые используются при производстве строительных материалов, бетона или раствора, причем гранулы смешиваются с золой или шлаком МСЗ.

Однако получение брикетов и гранул из ТКО - процесс энергоемкий, требующий значительных финансовых вложений и трудозатрат. В связи с этим такие установки рекомендуются для городов и малых населенных пунктов.

*Получение биогаза.* В основе процесса лежит биотермическое разложение органического вещества ТКО, протекающее при участии микроорганизмов с выделением теплоты. На первом этапе в слое отходов протекают аэробные процессы, затем нарастают анаэробные, конечным продуктом которых является биогаз.

Опыт показывает, что удельный выход газа составляет порядка 500 л на 1 кг сухого органического материала, который составляет до 40% ТКО. Из каждой тонны отходов образуется до 250 м<sup>3</sup> биогаза, состоящего из 50–60% метана, 30–45% диоксида углерода, 1–2% сероводорода и 1–2% соединения азота, водорода, кислорода и других (всего до 32 компонентов). Состав биогаза зависит от номенклатуры и качества исходного органического сырья, степени его сортировки и подготовки, соблюдения технологии процесса.

После очистки и осушки биогаза теплота его сгорания может достигать 80% по сравнению с природным газом, и он может эффективно использоваться в качестве топлива. Например, в Швеции местные автобусные маршруты и легковые перевозки практически полностью переведены на биогаз, получаемый из ТКО.

Основной проблемой использования биогаза является относительно высокий процент серы, сернистых соединений и галогенов в выбросах установки. Кроме того, экономическая эффективность сжигания биогаза быстро падает по мере удаления от места его производства. Биогаз – это сравнительно легкодоступное топливо для коммунальных и транспортных нужд.

Еще одним источником биогаза является такое обязательное природоохранное мероприятие, как дегазация свалок. При эксплуатации полигонов ТКО используют пассивную и активную дегазацию свалок. Первая осуществляется за счет избыточного давления образующихся в толще отходов газов (применяется редко, так как недостаточно эффективна и требует высокой степени изоляции свалки). Вторая осуществляется с помощью специальных устройств для добычи газа. Биогаз, после его очистки от углекислого газа, используется как источник тепловой энергии.

*Компостирование ТКО* заключается в получении компостных смесей из органической части ТКО за счет ее биологической переработки. В таких компостах несколько меньше органических веществ по сравнению с традиционными, получаемыми из отходов животноводческих и птицеводческих хозяйств, но больше микроэлементов. Основная задача при получении такого компоста состоит в предотвращении попадания в него тяжелых металлов и других токсичных соединений из исходного сырья.

Компосты из ТКО широко используются в европейских странах для создания искусственных плодородных грунтов в лесоразведении, благоустройстве и озеленении территорий и т.д.

*Полигоны твердых коммунальных отходов* – это природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, изоляции и обезвреживания отходов, обеспечивающее защиту от загрязнения атмосферы, почв, подземных и поверхностных вод, препятствующее распространению патогенных микроорганизмов за пределы площадки складирования. На полигонах возможна утилизация органической составляющей ТКО путем улавливания биогаза.

Срок службы полигона должен быть не менее 15–20 лет. Размещать полигоны необходимо с учетом требований санитарных норм, с удалением от ближайшей жилой застройки на расстояние не менее 500 м. К полигону должна быть подведена дорога с твердым покрытием. По всему периметру площадки, отведенной для полигона, должна быть устроена защитная лесополоса шириной не менее 20 м. Уровень грунтовых вод под днищем полигона должен находиться на глубине более 2 м. На площадке полигона не должны находиться выходы родников. Категорически запрещается использовать под полигоны акватории рек, озер, стариц и болот.

Площадь участка складирования полигона разбивается на очереди эксплуатации из расчета 3–5 лет на каждую очередь. В составе первой очереди выделяется первый пусковой комплекс с объемом складирования в течение 1–2 лет.

Защита от загрязнения почв и грунтовых вод осуществляется путем устройства специального противофильтрационного экрана, уложенного по всему днищу и бортам полигона, системы перехвата, отвода и очистки фильтрата, а также системы наблюдательных скважин для контроля качества грунтовых вод.

Защита от загрязнения почв и воздушного бассейна осуществляется путем ежедневного перекрытия заполненных рабочих карт полигона слоями грунта, организации системы сбора, отвода и утилизации биогаза, оборудования рабочих карт переносными сетками, перехватывающими разносимые ветром легкие фракции (бумага, пленки), рекультивации поверхности заполненных участков полигона.

Защита поверхностных водных объектов от загрязнения ливневыми и талыми водами, стекающими с территории полигона, ограниченной

лесополосой, осуществляется путем очистки поверхностного стока на площадке «биоплато» и отвода транзитных поверхностных вод.

После окончания эксплуатации полигонов их покрывают изолирующим слоем толщиной не менее 1 м в соответствии с проектом рекультивации.

*Санкционированная свалка* – территория, временно разрешенная для размещения отходов. Такая свалка имеет СЗЗ не менее 2 км, в пределах которой не допускается жилая застройка.

Наиболее серьезным источником загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод являются возникающие в городах и вокруг них *несанкционированные свалки*.

Основным нормативным правовым актом, устанавливающим правовые основы обращения с КО в Беларуси, является Закон «Об обращении с отходами» от 20 июля 2007 г. № 271-3 (далее - Закон).

Законом установлены основные принципы в области обращения с отходами, которые распространяются также и на обращение с КО. В частности, согласно ст. 4 Закона такими принципами являются:

- приоритетность использования отходов по отношению к их обезвреживанию или захоронению при условии соблюдения требований законодательства об охране окружающей среды и с учетом экономической эффективности;
- приоритетность обезвреживания отходов по отношению к их захоронению;
- экономическое стимулирование в области обращения с отходами;
- использование новейших научно-технических достижений при обращении с отходами;
- возмещение вреда, причиненного при обращении с отходами окружающей среде, здоровью граждан, имуществу;
- ответственность за нарушение природоохранных требований при обращении с отходами.

Одна из приоритетных задач в сфере обращения с отходами – это вовлечение отходов в ресурсный цикл в качестве вторичного сырья. С целью координации деятельности по сбору вторичного сырья и экономически обоснованному его использованию в соответствии с Законом и постановлениями Совета Министров Республики Беларусь определяется специальная организация, в функции которой входят:

- организация строительства объектов по использованию отходов;
- предоставление юридическим и физическим лицам, в том числе индивидуальным предпринимателям, осуществляющим обращение с отходами, информации об объектах по использованию отходов;
- участие в разработке государственных программ в области обращения с отходами в части сбора и использования отходов;
- выполнение работ по сбору вторичного сырья, его хранению и перевозке на объекты по использованию отходов.



В настоящее время в Беларуси действуют следующие механизмы вовлечения вторичных материальных ресурсов в гражданский оборот:

- сеть приемных (заготовительных) пунктов сбора (заготовки) вторичного сырья;
- система отдельного сбора (заготовки) КО посредством установки специальных контейнеров для сбора отдельных видов вторичного сырья;
- сортировка отходов на станциях (пунктах) сортировки КО.

Сдерживающими факторами в сборе основных видов вторичных материальных ресурсов являются:

- недостаточное количество и нерациональное расположение приемных пунктов;
- низкие закупочные цены на вторичные материальные ресурсы;
- недостаточное оснащение организаций, осуществляющих сбор, заготовку и сортировку вторичных материальных ресурсов, специальной техникой и оборудованием;
- отсутствие действенного механизма стимулирования сбора (заготовки) вторичных материальных ресурсов.

В целях совершенствования системы сбора (заготовки) основных видов вторичных материальных ресурсов в системе управления отходами в стране в настоящее время Законом предусматривается:

- разработка мероприятий по организации сбора (заготовки) и использования отходов в качестве вторичного сырья;
- создание производства сортировки смешанного стеклобоя, заводов (производств) по переработке вторичных материальных ресурсов, региональных центров по сбору (заготовке) отходов в качестве вторичного сырья, в том числе отходов сложной бытовой техники и транспортных средств, создание производств по переработке отходов асфальтобетона и строительных отходов;
- расширение сети приемных пунктов заготовки вторичного сырья;
- дальнейшее внедрение системы отдельного сбора ТКО путем увеличения количества контейнеров для отдельного сбора ТКО, а также пунктов (линий) для их сортировки;
- оснащение организаций, осуществляющих сбор (заготовку) вторичных материальных ресурсов, специальной техникой и оборудованием для сбора вторичных материальных ресурсов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое отходы и как они связаны с жизнедеятельностью города?
2. Каковы методы утилизации отходов?
3. Каковы основные методы решения проблемы отходов в городах?
4. Перечислите основные принципы в области обращения с отходами.
5. Каковы основные требования к устройству полигонов твердых коммунальных отходов?
6. Каковы механизмы вовлечения вторичных материальных ресурсов в гражданский оборот?

## МОДУЛЬ 3

### Лекция 7. ЭКОЛОГИЯ ФЛОРЫ И ФАУНЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

1. Структура зеленых насаждений в городе, своеобразие флоры урбоэкосистем.
2. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды.
3. Фитомелиорация городской среды. Принципы создания насаждений в городах и пригородных зонах.
4. Структура города как фактор формирования фауны.
5. Феномен и формы синантропии.
6. Влияние урбанизации на ареал видов.
7. Специфика состава, распределения и некоторых черт экологии животных урбанизированных территорий.

**1. Структура зеленых насаждений в городе, своеобразие флоры урбоэкосистем.** Зеленые насаждения города входят в состав *комплексной зеленой зоны* – единой системы взаимосвязанных элементов ландшафта города и прилегающего района. Функции данной зоны: обеспечение комплексного решения вопросов озеленения и обновления территории; природоохранная функция; рекреационная; улучшение условий труда и проживания.

Комплексная зеленая зона состоит из ядра (территория городской застройки) и внешней зоны. В ядре выделяют: микрорайоны, кварталы; зеленые насаждения различного назначения; озеленение улиц, дорог, площадей; озеленение промышленных территорий. Внешняя зона включает: внегородскую застройку, промышленные территории; курорты и места отдыха (пляжи, дачные поселки, учреждения отдыха); зеленые массивы (лесопарки), сады, питомники; неозеленяемые (сельскохозяйственные) территории; водоемы.

В структуру зеленых насаждений городской среды входят:

– *насаждения общего пользования*, к которым относят: скверы, парки, бульвары, сады, газоны, набережные, вертикальное озеленение.

– *насаждения ограниченного пользования* – внутриквартальные насаждения (во дворах жилых зданий), приусадебные участки, зеленые массивы лечебных, детских, школьных учреждений и промышленных предприятий.

– *насаждения специального назначения* - ветрозащитные, противопожарные, санитарные, мелиоративные, водоохранные зоны.

Многие города окружены «зеленой зоной» - пригородными лесами. Т.о. зеленые насаждения могут иметь как самостоятельное значение

(лесопарки), так и входит в структуру застройки города в качестве ее органического компонента (скверы, уличные насаждения).

Структуру природного каркаса города условно можно подразделить на макро-, мезо- и микроструктуру.

**Макроструктура** охватывает расположение зеленых массивов в черте города по отношению к массивам жилых кварталов, к промышленным районам города и транспортным узлам, к искусственным и естественным водоемам. Макроструктура создается при составлении генерального плана города.

*кольцевая макроструктура* – сформирована обычно в силу исторических причин в центрах старых городов: озеленение по периметру «бульварное кольцо» и за счет прежних загородных садов, кладбищ.

*мозаичная макроструктура* создается при слиянии близких сельских поселений с городом, росте промышленных пригородов.

**Мезоструктура** – расположение скверов, садов по отношению к улицам и постройкам в пределах отдельных микрорайонов города.

В старых частях города «зеленая мезоструктура» делится на два типа межквартальный – озеленены улицы, перекрестки; внутриквартальный – основная масса растений растет в огородах, садах, за домами внутри кварталов.

Экологически эти типы различаются очень резко даже при одинаковой плотности застройки: в первом случае флора находится под постоянным «антропогенным прессом», во втором случае иногда создаются условия для спокойного развития, возобновления и обогащения флоры и фауны.

В новых районах озеленение по составу и мезоструктуре довольно бедное и практически не выполняет свои средоохранные и экосистемные функции.

**Микроструктура** – расположение отдельных элементов озеленения: газонов, цветников, кустарников, деревьев. Ценность отдельных элементов микроструктуры не совпадает с точки зрения экономики, экологии и эстетики. Дорогие и эстетически ценные элементы озеленения – цветники и газоны – имеют не большую экологическую ценность. Высокоэффективными являются густые живые изгороди, пруды с богатой растительностью, сомкнутые группы деревьев.

Своеобразие флоры урбоэкосистем. Процесс городского флорогенеза происходит преимущественно стихийно. В составе городской флоры (урбанофлоры) можно выделить несколько групп:

Первая группа – виды растений, существующие только в окультуренном состоянии и используемые человеком для удовлетворения его жизненных потребностей.

Вторая группа – экзотические растения, в естественных условиях обитающие в иных природно-климатических зонах, в условиях же городской среды обитающие только в жилищах человека или в специальных сооружениях (оранжереи, теплицы).

Третья группа – неокультуренные растения, которые человек преднамеренно расселяет или выращивает в городах, но уже в природно-антропогенных или антропогенных местообитаниях. В данной группе можно выделить две подгруппы: интродуцированные виды и аборигенные (автохтонные) виды, обитающие в новых или измененных условиях среды.

Четвертая группа – это непреднамеренных интродуценты, «виды пришельцы», появление которых в данном регионе или городе не предусматривалось человеком, но которые распространились благодаря хозяйственной деятельности человека, в результате антропогенных преобразований ландшафтов, сопутствующих урбанизации.

Пятая группа – синантропные, т.е. виды, живущие в селитебном ландшафте, в непосредственном соседстве с человеком: в жилищах и других сооружениях, вблизи жилья и временных построек и распространяющиеся по мере распространения ландшафта данного класса. К синантропной растительности относятся следующие растительные сообщества:

*Пасквильная растительность* (от лат. «pascularis» – пастбище) – растительность пастбищ и интенсивно вытаптываемых участков.

*Сегетальная растительность* (от лат. «segetalis» – растущий среди хлебов) – совокупность популяций видов сегетальных сорняков. В условиях города эти растения являются обычными обитателями цветочных клумб, палисадников и других участков, занятых зелеными насаждениями.

*Рудеральная растительность* (от лат. «rudus» – щебень, растительный мусор) – сообщества регулярно или периодически нарушаемых местообитаний, как правило, антропогенного происхождения (свалки, городские пустыри, заброшенные строительные площадки и т. д.). Традиционно к рудеральной растительности относят сообщества первых стадий сукцессии с доминированием представителей сем. Маревые, Сложноцветные, Крестоцветные, некоторых злаков. Для рудеральной растительности характерно преобладание видов с широкими экологическими амплитудами (эвритопы) и большими ареалами, охватывающими несколько континентов (виды-космополиты, или убиквисты). В современном городском ландшафте рудеральная растительность играет немаловажную роль, открывая процессы самовосстановления растительности, предотвращая развитие эрозии. В составе рудеральной растительности немало ценных лекарственных растений и медоносов, а также видов, обеспечивающих высокую численность насекомых-энтомофагов.

Шестая группа – дикорастущие растения, живущие в городах в различных местообитаниях – от слабонарушенных и трансформированных природных до антропогенных.

В целом в формировании флоры в условиях городской среды можно выделить следующие основные закономерности:

1. Мозаичный характер зеленых насаждений и наличие различных по своим условиям биотопов, например: плотная и разреженная застройка, садово-парковые зоны, свалки и пустыри, пригороды с индивидуальными

постройками и садами. Такое разнообразие биотопов поражает и большое разнообразие экологических ниш, влияя на видовой состав растительности.

2. В отличие от естественной, городская флора более динамична и непостоянна. Она довольно быстро реагирует на изменения в деятельности местных промышленных предприятий. Например, с ввозом шерстяного сырья ввозятся «шерстяные виды»: степные и пустынные растения.

3. Городская флора по мере своего преобразования приобретает все более выраженные термоксерические черты в ущерб своим зональным особенностям. Флора городов насыщена видами более южных регионов, что соответствует перемещению по широте на 5–10 градусов в южном направлении (на 50–100 км).

4. Возрастает число видов цветковых растений, падает - споровых и голосеменных. Увеличивается число видов в термоксерофильных семействах (Бобовые, Маревые, Гречишные) и уменьшается в термофобных (Осоковые, Гвоздичные, Норичниковые, Лютиковые, Розовые, Ивовые).

5. Увеличивается значение в составе флоры 10 наиболее богатых видами семейств: большая часть видов городской флоры относится к меньшему числу семейств, чем зональная. Эта особенность является показателем ухудшения качества среды.

6. Возрастание роли адвентивных растений происходит в основном за счет выходцев с американского континента, Восточной Азии, Средиземноморья, континентальных районов Евразии, значительно меньше доля растений космополитных и европейских ареалов.

7. Происходит уменьшение позиций гемикриптофитов, хамефитов и гигрофитов, а усиление - терофитов и фанерофитов. Энтомофильные виды уменьшают свою роль за счет усиления позиций авто- и анемофильных видов.

Суммарным результатом всех флорогенетических процессов, происходящих в составе городской флоры, является возникновение на месте аборигенных флористических комплексов совершенно новых образований, включающих остатки трансформированных аборигенных флор, мигрантов из других флористических областей, виды антропогенного происхождения. В своем крайнем выражении эти образования получили название *антропогенных растительных комплексов*.

**2. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды.** В условиях города растительность подвергается значительной техногенной нагрузке. Можно выделить следующие основные факторы, оказывающие влияние на состояние городских насаждений:

1. Загрязнение окружающей среды.
2. Изменение микроклиматических процессов.
3. Нарушение технологии посадки.
4. Неудовлетворительное состояние почвы.
5. Повреждение вредителями и болезнями.
6. Случайные факторы (вандализм, механические повреждения).

Ослабленные городские растения сильно отличаются от лесных по своему физиологическому состоянию и морфологии: по характеру кроны, строению корневой системы, листьям и даже по морфологии клеток и пластидного аппарата. У городских деревьев снижена фотосинтетическая активность (примерно в 2 раза), поэтому они имеют более редкую крону, мелкие листья, короче побеги, наблюдается изменение цвета ткани растения на желтый, охристый, растение поражает хлороз, некроз.

Газообмен у городских растений имеет повышенную интенсивность, особенно ночное дыхание у деревьев вблизи каменных стен, нагретых за день. Энергетическая эффективность такого дыхания не велика, однако при этом идет расход веществ на дыхание.

Растения города обитают в условиях недостатка почвенной влаги, повышенной сухости воздуха, нагревание запыленных листьев, все это нарушает водный режим. Наблюдается значительное падение влаги в тканях листьев: у липы в лесу листья содержат 70–80% воды, на улицах города в жаркое время 50–52%. Нарушение водного режима обусловлено и тем, что из-за сильного загрязнения воздуха нарушается целостность устьичных клеток: устьица постоянно широко открыты, что увеличивает расход воды на транспирацию.

Минеральное питание растений в городе затруднено тем, что в почвах городов ощущается недостаток фосфора, калия, кальция, микроэлементов. Токсические вещества, поступающие в растения снижают содержание нуклеиновых кислот, белков, клетчатки, слабеет способность к образованию фитонцидов.

Общая продолжительность жизни городских растений существенно меньше, чем естественных. Городские деревья значительно ослаблены, поэтому они представляют собой места для развития вредителей и болезней.

Помимо традиционных функций, выполняемых растительным блоком в любой экосистеме (производство первичной продукции в результате фотосинтеза, потребляемой затем консументами и редуцентами, средообразующая функция), - в урбоэкосистеме существенное значение приобретают такие функции растительности, как:

- рекреационная,
- структурно-планировочная,
- декоративно-художественная,
- санитарно-гигиеническая: очищение городского воздуха от пыли и газа, ветрозащитная роль, фитонцидное действие, теплорегулирующий фактор, влияние на влажность воздуха, шумозащитная роль.

Разберем подробнее основные функции урбофлоры, обеспечивающие оптимизацию городской среды.

Зеленые насаждения в городе улучшают микроклимат городской территории: охлаждение городского «острова тепла» за счет увеличения альbedo поверхности и транспирации; стабилизация ветрового режима, увеличение относительной влажности воздуха и «сглаживание» ее суточных и сезонных

колебаний; задержание части осадков и уменьшение поверхностного стока; задержание снегового потока и талых вод. С 1 м<sup>2</sup> газона испаряется до 200 г/ч воды, что значительно увлажняет воздух. В жаркие летние дни на дорожке у газона температура воздуха на высоте роста человека почти на 2,5 градусов Цельсия ниже, чем на асфальтированной мостовой.

Велика роль зеленых насаждений в очистке воздуха городов, поглощении пыли и токсических веществ. Дерево средней величины за 24 часа восстанавливает столько кислорода, сколько необходимо для дыхания троих человек. За один теплый солнечный день 1 гектар леса поглощает из воздуха 220–280 кг углекислого газа и выделяет 180–200 кг кислорода. Газон задерживает заносимую ветром пыль и обладает фитонцидным действием. В жаркий летний день над нагретым асфальтом и раскаленными железными крышами домов образуются восходящие потоки теплого воздуха, поднимающие мельчайшие частицы пыли, которые долго держатся в воздухе. А над старым парком, разбитым в центре города, возникают нисходящие потоки воздуха, потому что поверхность листьев значительно прохладнее асфальта и железа. Пыль, увлекаемая нисходящими потоками воздуха, оседает на листьях. Один гектар деревьев хвойных пород задерживает за год до 40 тонн пыли, а лиственных – около 100 тонн. Крупные лесопарковые клинья могут быть активными проводниками чистого воздуха в центральные районы города. Качество воздушных масс значительно улучшается, если они проходят над лесопарками и парками, площадь которых составляет 600–1000 га. При этом количество взвешенных примесей снижается на 10–40 %, что приводит к повышению интенсивности ультрафиолетовой радиации на 15–25 %. В зависимости от величины города, его народнохозяйственного профиля, плотности застройки, природно-климатических особенностей, породный состав насаждений будет различным.

Газозащитная роль зеленых насаждений во многом зависит от степени газоустойчивости пород, характера и структуры посадок. В таблице 6 отражен уровень снижения степени загрязнения воздушного бассейна в зависимости от характера зеленых насаждений.

Таблица 6 – Эффективность снижения загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от структуры озеленения

Структура защитной полосы	Ширина защитной полосы, м	Снижение уровня загрязнения, %	
		общий	в т.ч. за счет насаждений
Однорядная полоса деревьев	5	5-10	4-7
Однорядная полоса кустарников	5	7-10	5-7
Двухрядная посадка деревьев высотой 10-12 м с кустарником	10	10-30	8-20
Двухрядная посадка деревьев высотой 10-18 м	10	25-30	20-25
Четырехрядная полоса деревьев высотой 12-15 м с кустарником	25	35-45	25-30

Ионизация воздуха. Существенной качественной особенностью кислорода, вырабатываемого зелеными насаждениями, является насыщенность его отрицательно заряженными ионами (благоприятно влияющими на здоровье человека). Число легких ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха над лесами составляет 2000–3000, в городском парке – 800, в промышленном районе – 200–400 в закрытом многолюдном помещении – 25–100.

На ионизацию воздуха влияет как степень озеленения, так и природный состав растений. Лучшими ионизаторами воздуха являются смешанные хвойно-лиственные насаждения. Сосновые насаждения только в зрелом возрасте оказывают благоприятное воздействие на его ионизацию, так как вследствие выделяемых молодняком паров скипидара концентрация легких ионов в атмосфере снижается.

Фитонцидные свойства. К санитарно-гигиеническим свойствам растений относится их способность выделять особые летучие органические соединения, называемые фитонцидами, которые убивают болезнетворные бактерии или задерживают их развитие. Эти свойства приобретают особую ценность в условиях города, где воздух содержит в 10 раз больше болезнетворных бактерий, чем воздух полей и лесов.

В чистых сосновых лесах и лесах с преобладанием сосны (до 60%) бактериальная загрязненность воздуха в 2 раза меньше, чем в березовых. Из древесно-кустарниковых пород, обладающих антибактериальными свойствами, положительно влияющими на состояние воздушной среды городов, следует назвать акацию белую, барбарис, березу бородавчатую, грушу, граб, дуб, ель, жасмин, жимолость, иву, калину, каштан, клен, лиственницу, липу, можжевельник, пихту, платан, сирень, сосну, тополь, черемуху, яблоню. Фитонцидной активностью обладают и травянистые растения - газонные травы, цветы и лианы.

Защита от шума. Недостаточное озеленение городских микрорайонов и кварталов, нерациональная застройка, интенсивное развитие автотранспорта и другие факторы создают повышенный шумовой фон города. Борьба с шумом в городах – острая гигиеническая проблема, обусловленная усиливающимися темпами урбанизации.

Различные породы растений характеризуется разной способностью защиты от шума: хвойные породы (ель и сосна) по сравнению с лиственными (древесные и кустарниковые) лучше регулируют шумовой режим. По мере удаления от магистрали на 50 метров лиственные древесные насаждения (акация, тополь, дуб) снижают уровень звука на 4,2 дБА, лиственные кустарниковые – на 6 дБ, ель – на 7 дБА, сосна – на 9 дБА; при удалении от магистрали на 250 метров – соответственно – 10; 14; 15,5 и 17,5 дБ. Лиственные породы способны поглощать до 25 % звуковой энергии, а 74 % её отражать и рассеивать. Наилучшими в этом отношении являются (из хвойных пород): ель, пихта, туя; из лиственных – липа, граб и другие.



**3. Фитомелиорация городской среды. Принципы создания насаждений в городах и пригородных зонах.** *Фитомелиорация* – направление прикладной экологии, состоящее в исследовании, прогнозировании и использовании растительных систем для улучшения геофизических, геохимических, ботанических, пространственных и эстетических характеристик окружающей человека среды, проектировании и создании искусственных растительных группировок (включая целенаправленное использование природных растительных сообществ) с высокими преобразующими физическую среду свойствами. Любое растительное сообщество естественного или искусственного происхождения, используемое в целях фитомелиорации окружающей человека среды, является *фитомелиоративной системой*.

Классификация фитомелиоративных систем:

I. В зависимости от жизненных форм, преобладающих в составе фитомелиоративной системы, различают:

- древесно-кустарниковые насаждения;
- травянистые наземные сообщества;
- водно-болотные сообщества.

II. По происхождению и степени участия человека в контроле функционирования растительных систем различают:

культурфитоценозы – растительные сообщества, созданные человеком для получения первичной продукции (поля, сады, газоны);

искусственные растительные группировки, не обладающие фитоценотической структурой (искусственные уличные или внутриквартальные насаждения, с искусственными покрытиями между отдельными деревьями);

спонтанные фитоценозы – нарушенные естественные сообщества и сообщества синантропных растений;

природные фитоценозы.

III. По признаку целевого использования фитомелиоративные системы делят на следующие категории:

специальные, не используемые с целью получения первичной продукции или эксплуатируемые в определенном режиме (парки, скверы, защитные полосы, насаждения охраняемых территорий в пределах зеленых зон городов);

продукционные, фитомелиоративные функции которых используются без ущерба для производства первичной продукции (поля, плодовые сады, виноградники, фитоаквакультура и т.д.);

рудеральные, фитомелиоративные функции, которыми выполняются спонтанно.

*Эффективность* фитомелиоративной системы определяется как:

отношение количества поглощенного загрязняющего вещества, к общему количеству поступающего извне за определенное время (в случае фильтрующей функции по механизму сопротивления внешним воздействиям);

отношение количества выделенного растениями за определенное время в определенном объеме вещества с мелиоративными свойствами к количеству вещества в некоторый исходный момент времени в том же объеме до начала работы фитомелиоративной системы (в случае работы системы по принципу усиления);

отношение количества выделенного растениями вещества в определенном объеме за определенное время к количеству этого вещества в том же объеме, потребленного человеком за тот же период времени (в случае компенсирующего действия).

При определении фитомелиоративной эффективности рекультивирующих систем используются косвенные показатели, такие как, например, содержание гумуса в почве до рекультивации и по прошествии определенного периода после введения в действие фитомелиоративной системы, т.е. скорость гумусообразования в новых условиях. Наибольшей эффективностью отличаются многовидовые, многоярусные фитомелиоративные системы древесно-кустарниковых насаждений. Травянистые рудеральные сообщества в целом уступают по эффективности природным травянистым и древесно-кустарниковым, но, тем не менее, выполняют ряд важных функций в урбоэкосистеме: закрепляют нарушенные субстраты, препятствуя запылению атмосферы, поглощают значительное количество токсичных веществ, поступающих в окружающую среду с выбросами предприятий и выхлопными газами от автотранспорта, например. Различные фитомелиоративные системы функционально дополняют друг друга, поэтому в каждом крупном городе целесообразно использовать все возможные в данных условиях фитомелиоранты в комбинациях, позволяющих максимизировать желаемый эффект.

***Свойства растений, используемых в составе городских и пригородных насаждений.*** Среди различных свойств видов растений, используемых в фитомелиоративных системах, выделяют следующие характеристики, которые имеют наибольшее значение для достижения высокой эффективности фитомелиоративных мероприятий:

способность произрастать в широком диапазоне условий почвенного богатства, определяемых механическим составом и запасом питательных веществ; широкий диапазон толерантности к условиям почвенного увлажнения;

в ряде случаев, когда фитомелиоративные системы создаются в специфических эдафических условиях, для достижения желаемого эффекта необходимо использовать растения, специализированные в произрастании на очень богатых или, наоборот, очень бедных местообитаниях, или в условиях одновременного затопления и засоления; растения засоленных местообитаний проявляют и свойства высокой устойчивости к газо-аэрозольным выбросам;

высокая устойчивость (соответственно, низкая чувствительность) к промышленным газо-аэрозольным загрязнениям; как правило, листопадные деревья умеренных широт и травянистые растения засушливых местообитаний демонстрируют более высокую устойчивость к этому фактору, чем, соответственно, хвойные растения и растения более влажных местообитаний;

способность поглощать загрязняющие вещества из атмосферы или водной среды;

хорошо выраженные фитонцидные свойства; хорошо выраженная способность к ионизации атмосферного воздуха;

ветвистые кроны с густой листвой или плотной хвоей, что является необходимым условием для использования растений в целях шумопоглощения;

высокие эстетические качества: растения с красивыми, декоративными кронами, побегами, цветками, плодами используются в архитектурно-планировочной фитомелиорации.

**Главные принципы создания насаждений** в различных функциональных зонах городов. *Принцип комплексности*: растительные системы проектируются, создаются и используются для достижения не одной, а комплекса фитомелиоративных целей. *Принцип соответствия* насаждения типу местообитания, который предполагает в свою очередь использование следующего комплекса принципов: *экологические и лесотипологические*. Подбирается асортимент видов, способных произрастать в условиях данного лесохозяйственного района и данного местообитания. Интродуцированным видам отдается предпочтение в случае, если их экологические характеристики близки к таковым местных видов, но устойчивость к промышленному загрязнению значительно выше. Из полученного списка исключаются виды с ярко выраженными аллелопатическими свойствами, которые подавляют другие виды при совместном произрастании в смешанных насаждениях.

*Филогенетические и биосистематические*. В основе использования этих принципов лежат представления о соответствии географических ареалов видов растений их экологическим и филогенетическим особенностям: филогенетически близкие таксоны занимают идентичные экологические ниши. На основе данного принципа создаются так называемые монокультурные парки и сады из деревьев разных видов одного рода, обладающие высокими санитарно-защитными, рекреационными и эстетическими свойствами. Эти же принципы положены в основу селекционной работы по выведению новых форм (в рамках современных таксонов), обладающих такими свойствами, которые делают их пригодными для культивирования в специфических условиях города.

*Эстетические принципы*. Используются преимущественно в архитектурно-планировочной, эстетической и рекреационной фитомелиорации при создании пейзажных элементов насаждений.

Лишь на основе комплексного применения методических принципов и подходов лесоведения, биогеоценологии, физиологии, генетики и селекции растений, ландшафтной архитектуры возможно решение задач экологической оптимизации современного урбанизированного ландшафта.

**4. Структура города как фактор формирования фауны.** Условно город делят на две подсистемы: природную и антропогенную. К природной подсистеме относится биологическая система, в которую входят биотические компоненты – биота. В фауну городов существенные различия вносит их размер, различное географическое положение и исторические особенности. Ключевыми факторами, определяющими особый статус города как среды обитания животных, являются элементы экологической обстановки, присущие урбанизированному ландшафту. В качестве основных параметров выделения мест обитания используются ландшафтно-экологические различия участков территории: состояние растительности; общая застроенность; наличие открытых пространств; гидрологические условия; фактор беспокойства; интенсивность движения транспорта; плотность населения людей.

На основании этого для города характерно множество типов местообитаний, объединенных в 5 комплексов:

1. Комплекс техногенных местообитаний;
2. Комплекс застройки. Особенности городской архитектуры открывают широкие возможности для поселения многих видов птиц и других животных. Часть из них прямо связаны с каменными строениями, имеющими множество ниш, щелей, карнизов (голуби, стрижи).
3. Комплекс открытых пространств, в том числе и городские свалки, где концентрируются грачи, вороны, галки, голуби.
4. Комплекс зеленых насаждений (белки, дрозды, зяблики);
5. Комплекс водно-болотных мест обитания.

Важнейшие местообитания, исчезающие из урбанизированных областей, следующие: сырые или влажные участки (с застойным увлажнением); бедные питательными веществами почвы и воды; участки с густой растительностью; древесина различной степени разрушения; скальные породы и продукты их выветривания: ложбины, низины, склоны.

Следует отметить, что различие условий и места обитания в городе значительно разнообразнее, чем представленная выше классификация. Приведем примеры основных местообитаний, складывающихся в них условий и особенностей фауны.

*Постройки. Строя* – представляют собой совершенно особые и отчасти новые для живого экологические ниши. Для заселения животными внутренних помещений определяющими факторами являются: наличие специфического источника питания, температурный режим и относительная влажность воздуха.

**Непостоянно отапливаемые жилые дома** характеризуются, прежде всего, частой, относительно сильной изменчивостью температуры в помещении, расположением отапливаемых и неотапливаемых помещений.

*Чердаки.* По своей пространственной структуре чердаки пригодны для гнездования (сизый голубь), отдыха, сна, зимовки (летучие мыши). В свою очередь гнезда птиц и подстилка из экскрементов летучих мышей заселяются многими видами членистоногих. Главной причиной встречаемости доминирующих таксонов являются трофические связи:

- кровь и детрит гнезда: блохи;
- плесень и детрит: ногохвостки, сеноеды;
- останки животных: кожееды, моли;
- экскременты: двукрылые.

*Этажи.* Фауна этажей зависит в первую очередь от наличия пищи, от структуры и расположения комнат. Так, нижние и верхние этажи как правило отличаются повышенной влажностью воздуха, южные комнаты теплее северных.

Экологически фауна этажей подразделяется на следующие группы: вредители запасов, вредители материалов, паразиты человека, паразиты домашних животных, обитатели домашней пыли, обитатели плесени, фауна цветочных горшков и комнатных растений, синантропные двукрылые, пауки, случайно проникающие виды (главным образом через окна, заносимые с почвой на обуви) виды и «фауна холодильников».

*Подвалы.* Присутствие специфических видов животных в подвалах зависит прежде все от абиотических факторов (темнота, высокая относительная влажность воздуха, устойчивая низкая температура), наличия пищи (хранящиеся продукты питания, дерево и плесневые грибы), структуры пространства и сравнительно слабых нарушений. Собственно, «подвальными» считаются лишь некоторые виды, остальные заносятся людьми с материалом, используют подвалы для зимовки.

**Постоянно отапливаемые здания.** В экологическом отношении характеризуются, прежде всего, довольно высокой с незначительными колебаниями на протяжении всего года температурой, пониженной в большинстве случаев относительно влажностью воздуха. Переоборудование непостоянно отапливаемых зданий в постоянно отапливаемые влечет за собой глубокие изменения в составе фауны. Например, развитие точильщика *Anobium punctatum* приостанавливается при включении центрального отопления. Постоянно отапливаемые здания с более сухим и теплым микроклиматом благоприятны для поселения жуков-кожеедов, платяной моли, рыжего таракана.

**Внешние стены домов.** Заметно отличается фауна озелененных стен домов от голых стен. В первом случае, среди растительности (виноград, плющ) отмечаются гнездования некоторых видов птиц (снегиря, серой

мухоловки), колонии домового воробья. На незеленных стенах зданий обитают эпилитные виды – обитатели скал, использующие стены зданий как потенциальное убежище. Высокая их численность связана с большим возрастом городов и расширением их территорий. В заполненных раствором швах старых домов поселяются перепончатокрылые. Например, пчелколлетес, являющаяся вредителем зданий.

**Крыши.** Фауна крыш зависит от их формы (плоская, наклонная), наличия или отсутствия растительного покрова. Особенно богата фауна плоских, покрытых мхом крыш (жуки, клопы, гусеницы бабочек, пауки; иногда гнездится хохлатый жаворонок). Собственный ценоз формируется в желобах крыш, в котором изучены, прежде всего, тихоходки и коловратки. Многочисленны гнезда ос, птиц под выступающими частями крыш.

**Балконы** вследствие наличия на них различных видов растений и определенных пространственных структур могут быть местами концентрации некоторых видов животных. Здесь гнездятся некоторые птицы: домовая воробей, зеленушка, деревенская ласточка, черный дрозд. Балконные растения служат кормом для перепончатокрылых, селящихся в стенах домов. Под цветочными горшками часто встречается уховертка, а в цветочных ящиках зимуют божьи коровки, хлебный трипс. В косяках, перилах гнездится большеголовая оса.

**Складские и некоторые производственные помещения.** Данные типы помещений различаются как по важнейшим абиотическим факторам, так и по наличию пищи, а соответственно и по населяющей их фауне, которая отчасти сходна с фауной жилых домов.

*Хранилища муки и зерна.* Этот тип строений обладает специфичной фауной, включающей высокую долю космополитов и постоянно обогащаемой заносными видами. Некоторые виды насекомых из родов *Sitophilus*, *Trogoderma*, *Ephestia*, и *Sitotroga*, а также ряд их паразитов в природе больше не встречаются.

*Пекарни.* Типичными животными пекарен считаются рыжий и черный тараканы, домовый сверчок, мельничная огневка, комплекс амбарных клещей, различные чернотелки и некоторые щетинохвостки. Например, щетинохвостка термобия домашняя (*Thermobia domestica*) обитает почти исключительно в пекарнях.

*Застроенные территории.*

С точки зрения антропогенной нагрузки можно условно разделить на: городские центры, районы старой застройки, районы новостроек. В первых двух случаях наблюдаются схожие условия: повышенная и относительно устойчивая температура, очень быстрый сток дождевой воды и связанная с этим низкая относительная влажность воздуха. Степень застроенности территории очень велика (свыше 80%), свободная почва как правило сильно эвтрофицирована и засолена. Растительность развита

незначительно, преобладают ухоженные газоны, цветочные клумбы, кустарниковые насаждения. Деревья встречаются обычно отдельными экземплярами, дикорастущие виды почти полностью отсутствуют. Районы новостроек характеризуются окраинным положением по отношению к ранее застроенным городским кварталам и более сильным влиянием городских окрестностей. Районы новостроек рассматривают как сукцессии городской фауны. В различных городах здесь сходны сначала свободные экологические ниши, которые быстро заселяются определенными видами. Общие закономерности изменения фауны в городских новостройках (на примере птиц):

- доминируют виды, гнездящиеся на зданиях; они составляют в большинстве случаев свыше 90% общего числа гнездящихся пар;
- по мере развития растительности возрастает количество птиц, размножающихся в природе на кустарниках и деревьях;
- общее число видов, их число на 10 га, число гнездящихся пар и плотность заселения увеличиваются с возрастом района;
- численность некоторых видов (например, хохлатого жаворонка) наоборот, уменьшается, поскольку по мере застройки исчезают оптимальные для них местообитания.

#### *Дороги.*

*Асфальтированные дороги* обладают барьерным эффектом по отношению к распространению животных. Четырехрядная дорога – такой же эффективный барьер против распространения мелких млекопитающих, как и водная полоса вдвое большей ширины. Барьерный эффект дороги обусловлен прежде всего следующими причинами:

- изменение важнейших микроклиматических факторов на расстоянии до 30 м с каждой стороны проезжей части;
- структура дороги может действовать как механическая преграда;
- шум, пыль, ночное освещение, выхлопные газы, засоленность почвы обуславливают неблагоприятную экологическую обстановку;
- непостоянство растительности вследствие обработки гербицидами и механических воздействий;
- гибель при пересечении дороги, сдувание потоками воздуха более мелких видов.

*Обочины дорог.* Транспортные выбросы и другие антропогенные факторы оказывают значительное воздействие на фауну обочин, в следствие чего, возникают новые ассоциации – антропогенные зональные зооценозы, характеризующиеся своеобразной структурой сообщества.

*Мощные тротуары, места стоянок транспорта и улицы* бывают предпочтительными местообитаниями для различных жалящих перепончатокрылых, особенно для некоторых видов, обитающих в песке. На некоторые виды благоприятно влияет высокая температура, которая под уличными покрытиями значительно выше, чем в открытом грунте. По сравнению

с окружающей местностью здесь наблюдается ускорение развития и более раннее появление насекомых, а иногда частичное образование в течение года второго поколения.

*Железнодорожные сооружения.* Создающиеся специфические условия характеризуются следующими особенностями: антропогенные наслоения камня, гравия, песка с незначительной долей естественной почвы; сильное поверхностное нагревание насыпей; применение солей; локальные загрязнения горючего и смазочного масла; преобладание солеустойчивых однолетников и теплолюбивых многолетников.

**Кладбища.** Отличаются эмоционально-обусловленным отсутствием нарушений, что приводит к появлению некоторых видов и прежде всего позвоночных, высоко видовое разнообразие членистоногих. Биотопы кладбищ отличаются значительными площадями открытого грунта, естественными почвами, но с перемешанными горизонтами, разнообразен растительный покров (наличие хвойных, интродуцентов, кустарников).

Особенности городской среды, откладывающие отпечаток на формирование фауны:

1. Рост урбанизации (нарушение естественного ландшафта, интенсивное потребление природных ресурсов, загрязнение окружающей среды отходами, застройка пустырей, расширение города за счет поглощения ближайших населенных пунктов, рекреационная нагрузка и т.п.) негативно влияет на животных.

2. На обитание животных в городе значительный отпечаток накладывает островной характер пригодных для их существования биотопов: озелененные пространства, луговины, пустоши, кладбища, поймы рек и ручьев перемежаются заасфальтированными улицами и площадями, транспортными путями и т.п.

3. Еще одна особенность городской среды – наличие множества переходных зон между отдельными биотопами.

4. Особенности формирования городского климата. С одной стороны на жизнедеятельность и распространенность животных, в городах создаются благоприятные условия для обитания определенных типов фауны: температура воздуха в городе на 1–2 °С выше; обилие пищи и значительное количество укрытий для потомства). Но вместе с тем относительная влажность воздуха ниже на 20%; идет загрязнение почвы и воды, имеет место запыленность и загрязненность воздуха, шум, большое количество бродячих кошек и собак. В результате в городе выживают эврибионтные полифаги, обладающие высокой плодовитостью и пластичным поведением.

5. Различный «возраст» отдельных кварталов или застроек, также сказывается на распространенности некоторых видов.

На рисунке 4 схематически показано пути формирования флоры и фауны городов.



## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ В ПРОЦЕССЕ УРБАНИЗАЦИИ

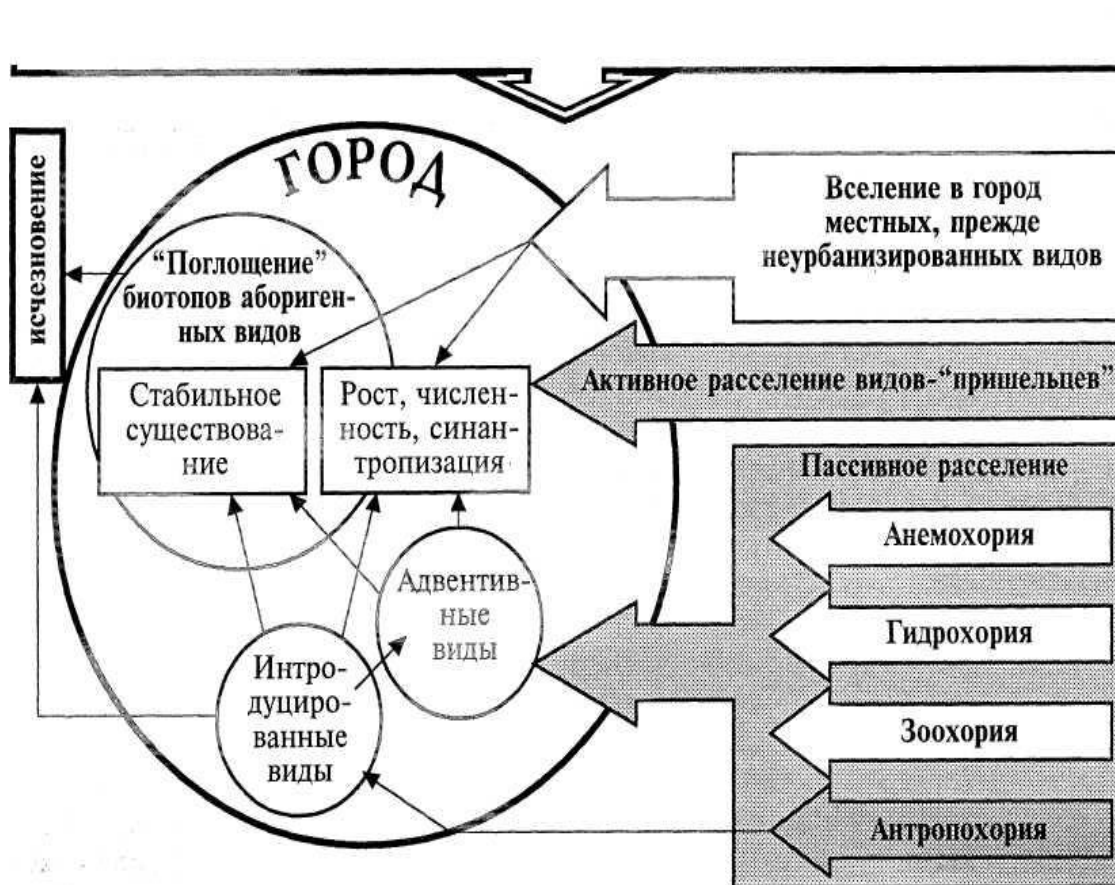


Рисунок 4 – Пути формирования флоры и фауны городов

**5. Феномен и формы синантропии.** Синантропия и урбанизация (последнее слово употребляется здесь только в своем частном значении как экологическое понятие) – это биологические феномены, вызванные, прежде всего возникновением городов и тесно связаны с их строительством и развитием. С появлением поселений уничтожаются природные биоценозы и создаются новые, со свободными и совершенно своеобразными экологическими нишами, которые осваиваются животными различного происхождения (обитателями скал, обрывов, нор и пещер, древесины, семян и плодов, некрофагами, копрофагами и паразитами). Для некоторых синантропных видов, например *Sitophilus granarius*, природных популяций вообще неизвестно. Вероятно, синантропия возникла 6 - 10 тыс. лет назад, однако в отдельных случаях она может иметь и более древнее происхождение.

Для характеристики синантропии существенны два критерия:

1. спонтанное присутствие организмов в поселениях человека без или против его воли;
2. тесное сосуществование с человеком или зависимость от его деятельности.

Термин «синантропия» должен означать связь с человеком не только через пространственную структуру поселений, но и через непосредственно зависимых от него домашних животных. *Синантропы* – это те виды, которые регулярно обитают на территории населенных пунктов или в сооружениях человека.

Различают следующие формы синантропии (в зависимости от времени пребывания в городской среде):

а) *облигатная (эвсинантропия)*; вид встречается как минимум в одной из климатических зон только в антропогенных условиях, а в пределе — только в зоне поселений человека. Свойственна специфическим паразитам человека (постельные клопы).

б) *факультативная* (гемисинантропия, олигосинантропия): виды имеют в зоне поселений человека оптимальные условия существования, однако образуют популяции и вне антропоценозов, из которых возможна иммиграция в природные биотопы;

в) *непрерывная (перманентная)*: жизненный цикл вида полностью протекает в антропоценозах;

г) *временная (ксенантропия)*: виды находятся в антропоценозах только в определенное время (например, в период (зимовки) или при определенных условиях, не образуя там самовозобновляющейся популяции;

д) *частичная*: вид принадлежит к антропоценозу на определенной стадии своей жизнедеятельности (возможно лишь часть суток), а в остальное время входит в другие биоценозы. В качестве примера можно привести городскую ласточку, гнездящуюся на домах, но находящую корм (по крайней мере его часть) за городом. Частичную синантропию легко спутать с временной, однако следует учесть, что популяции частично синантропных видов принадлежат к антропоценозу.

В зависимости от характера занимаемого биотопа выделяют следующие формы синантропии:

1. *Абсолютная (облигатная)* животные обитают только в человеческих жилищах и конструкциях. Свойственна специфическим паразитам человека (постельные клопы).

2. *Настоящая (преимуществая)* – животные обитают во всех типах зданий, включая каменные многоэтажные дома. Виды настолько приспособились, что расселились по всему миру (грызуны).

3. *Географически ограниченная* – животные хорошо приспособились к обитанию в постройке человека, они заселяют их только пределах своего естественного ареала.

4. *Экологически ограниченная* – животные не могут длительно жить в современных многоэтажных домах, но способны заселять деревянные дома в сельской местности (грызуны). В местах сельскохозяйственной продукции, грызуны образуют относительно устойчивые группы.

5. **Внепостроечная** – в пределах населенных пунктов, включая города, всегда есть свободные от строений участки с растительным покровом – сады, скверы. Они являются островками – аналогами природных биотопов.

6. **Ложная** – это когда численность их в природных биотопах высокая, часть особей заходит в рядом расположенные застройки.

Перечисленные формы синантропии не чётко отделяются друг от друга. Различные формы могут быть характерны для одного вида. С увеличением уровня урбанизации, увеличивается доля настоящих синантропов.

Для характеристики синантропии используют разнообразные индексы. **Индекс синантропизации ( $W_s$ )** – означает долю синантропных видов в биоценозе:

$$W_s = \frac{L_s}{L_o},$$

где  $L_s$  – число синантропных видов,  $L_o$  – общее число видов.

По мере приближения к границам ареала часто наблюдается возрастание синантропии, что характерно, прежде всего, для видов южного происхождения. Из факультативной синантропия становится облигатной, из временной – постоянной. Особенно заметно ее увеличение к северу. Возрастание синантропии по направлению к северу обеспечивает существование видов в тех областях, где иначе они вовсе не могли бы жить, поэтому многие синантропные виды – **космополиты**.

Высокую численность синантропных животных в городе обуславливают прежде всего более высокая температура; высокая кормовая база (отмечено, что повышение питательности корма, например на мусорных свалках, компенсирует неблагоприятное воздействие других факторов); наличие многочисленных убежищ; отсутствие конкурентов и естественных врагов. Гораздо меньше в городе в количественном отношении **экзоантропов**, животных, которые могут обитать на территориях, мало затронутых человеком (лесопарки). Их питание в большинстве случаев не зависит от человека. К этой группе относятся: заяц-беляк, заяц-русак, рыжая полевка, лиса, лось, кабан и др. Практически все экзоантропы связаны с прилегающими к городу лесами, откуда они заходят в лесопарки. Промежуточное положение между синантропами и экзоантропами занимают **полусинантропы** – животные, отличающиеся экологической пластичностью. Они населяют парки, сады, бульвары, а также свалки и помойки. В значительной степени питаются за счет хозяйственных отходов человека. Это – еж, крот, рукокрылые.

**6. Специфика состава, распределения и некоторых черт экологии животных урбанизированных территорий.** В результате общей специфики урбанизированных территорий, видовой состав животных в городе, как правило, обедне по сравнению с составом животных большинства естественных экосистем того же региона, за исключением, состава

животных-паразитов (Клауснитцер, 1990). Для многих групп животных их видовое разнообразие закономерно уменьшается от окраин к центру города.

*Энтомофауна городской экосистемы* характеризуется ограниченностью таксономического разнообразия что заключаются, по-видимому, в флористической бедности биомассы этих экосистем, в отмеченной в предыдущих темах специфике почвенного покрова в городах, в техногенной загрязненности всех компонентов городских экосистем, а также вследствие использования химических мер борьбы с насекомыми в рекреационных зонах городов. Вместе с тем присутствие в городе древесно-кустарниковой растительности, не свойственной данной ландшафтно-климатической зоне, обуславливает иногда внедрение в экосистемы города отдельных видов насекомых, отсутствующих в естественных биотопах данного региона.

Среди массовых насекомых в городах преобладают виды фитофаги - обитатели древесной растительности, паразиты и хищники (около 40%), тогда как видов сапрофагов гораздо меньше (около 28%), а их суммарная численность низка. Здесь мало видов насекомых, обитателей почвы и травянистой растительности.

Среди позвоночных животных, обитающих в городе, *земноводные и пресмыкающиеся*, в силу особенностей их биологии, характеризуются большой экологической пластичностью, высокой жизнестойкостью и склонностью к синантропии. В то же время они наиболее подвержены влиянию факторов урбанизации, поскольку не имеют таких развитых механизмов этологической адаптации или возможности расселения, как птицы и млекопитающие. Места обитания герпетофауны в условиях крупных городов характеризуется неуклонным смещением к периферии города. Эти животные со временем полностью исчезают на относительно небольших и изолированных зеленых территориях. Их обилие постепенно снижается и в крупных лесопарковых массивах. В рекреационных зонах городов обычно присутствуют 1–2 вида подотряда ящериц и изредка у городских водоемов обыкновенный и еще реже водяной ужи.

Основные причины сокращения численности и исчезновения земноводных в мегаполисе: 1. Уничтожение, трансформация и загрязнение мест обитаний и мест размножения. 2. Антропогенная фрагментация популяций и их местообитаний. 3. Уничтожение природных коридоров для восстановления угасающих популяций. 4. Изменение характера субстрата и микроклимата природных биотопов. 5. Воздействие домашних и синантропных, водных и околоводных хищников. 6. Вандализм со стороны человека и сбор для террариумного содержания.

Очень беден в экосистемах городов умеренной зоны видовой состав *млекопитающих*. Из млекопитающих, кроме одомашненных, в городских экосистемах обычны несколько видов мышевидных грызунов, иногда в городских парках белка обыкновенная, лесная и садовая сони, отдельные

виды отрядов насекомоядных и рукокрылых и очень редко представители отряда хищников: ласка, некоторые другие виды куньих.

Причины таксономической бедности млекопитающих на урбанизированных территориях заключаются, по-видимому, в скудности травянистой растительности, в специфике почвенного покрова и его распределении, усложняющем для многих мелких млекопитающих создание убежища, в бедности энтомофауны (особенно наземной) - кормовой базы некоторых млекопитающих. Сильно усложняют существование млекопитающих, на территории городов интенсивные здесь антропогенные факторы беспокойства и постоянное присутствие в городских экосистемах большого числа кошек, а в последние годы и бродячих собак.

*Птицы* по видовому разнообразию в городских экосистемах уступают только насекомым. Но тем не менее таксономический состав орнитофауны городов также, как правило, беднее, чем в естественных экосистемах тех же регионов. Существенное значение в определении видового многообразия птиц в городах имеют возраст самих городов, возраст и площадь их парковых зон, а также разнообразие городских построек, создающих благоприятные условия для гнездования многих видов птиц - сизого голубя, черного стрижа, городской и деревенской ласточек, домового воробья и некоторых других (удода, белой трясогузки, обыкновенной каменки и др.).

Факторами, ограничивающими видовое разнообразие птиц в городах, следует, видимо, считать ограниченность здесь видового состава, а нередко и биомассы насекомых, бедность растительности и особенно числа старых дуплистых деревьев, ограниченность площади зеленых насаждений, скудность и дискретность травянистого покрова, не обеспечивающего благоприятного существования наземно-гнездящихся птиц, шумовую насыщенность городов, интенсивное движение людей и транспортных средств, обилие здесь кошек и собак, а для хищных птиц - скудность доступной для них в городе кормовой базы и для крупных хищников - ограниченность площади городских экосистем. По этим же причинам численность большинства видов птиц, заселяющих городские территории в гнездовой период, как правило, гораздо меньше их относительной численности в естественных биотопах тех же регионов. Только для небольшого числа видов, особенности биологии которых сформировались как результат антропогенного отбора в городских условиях, города являются наиболее благоприятной средой их обитания. Как следствие этого, численность и плотность популяций этих птиц в экосистемах городов бывает очень большой и обычно превышает соответствующие показатели любых видов птиц в естественных экосистемах. Этому способствует и очень незначительная, как правило, численность на городских территориях специализированных хищников-орнитофагов.

Среди птиц и млекопитающих в городских экосистемах по численности заметно преобладают полифаги, способные использовать в качестве кормовой базы разнообразные органические бытовые отходы, а для

убежищ и гнезд – постройки человека или древесно-кустарниковую растительность. Но при этом здесь, как правило, немного видов дуплогнезdnиков, очень редки наземно-гнездящиеся птицы, а также почвенные млекопитающие и норники. Очень мала и численность этих видов. Из стенофагов на урбанизированных территориях с большой численностью обитают или паразитарные организмы, или виды, корм которых однороден, но обилен, а запасы создаются человеком. Местом гнездования сизого голубя являются постройки человека, а основным кормом – бытовые отходы, состоящие или изготовленные из семян, характерный пример такого типа синантропизации – стенофага-семеноеда.

Сниженная интенсивность размножения многих животных на урбанизированной территории и высокий уровень смертности, особенно молодняка, как правило, исключают возможность высокой численности здесь большинства видов позвоночных, кроме типичных синантропов.

Вместе с тем на территориях интенсивного техногенного загрязнения, в связи со сниженной плотностью популяций, у некоторых видов (например, несинантропных грызунов) молодняк раньше включается в процесс размножения по сравнению с животными из контрольных биотопов. Кроме того, слабое давление хищников и отсутствие конкурентов делают возможным, во-первых, периодические вспышки численности видов животных, имеющих достаточно обильную кормовую базу, например, некоторых насекомых, питающихся листьями древесных и кустарниковых растений или органическими бытовыми отходами, а также синантропных грызунов, если ослабевает искусственное ограничение их численности. Во-вторых, те же причины обуславливают постепенное, но постоянное нарастание численности некоторых животных, интенсивно осваивающих специфическую кормовую базу городских экосистем и убежища, неумышленно создаваемые для них в городе человеком (некоторые виды комаров и муравьев, серая ворона, кольчатая горлица и ряд др.).

Таким образом, на урбанизированных территориях формируются специфические сообщества животных, отличающиеся от сообществ естественных биотопов тех же регионов, как по составу видов, так и по их численности и некоторым межвидовым взаимодействиям, по фенологии, экологии многих видов, по реакции животных на антропогенные факторы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова структура зеленых насаждений в условиях города?
2. Перечислите функции зеленых насаждений в урбоэкосистемах.
3. Каковы основные принципы фитомелиорации?
4. Перечислите особенности формирования фауны в условиях города.
5. Дайте понятие синантропии.
6. В чем специфика состава и распределения животных урбанизированных территорий?
7. Определите особенности формирования флоры в условиях города.

## МОДУЛЬ 4

### Лекция 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

- 1. Основные источники загрязнения и экология воздушной среды городов Беларуси.*
- 2. Использование и экология природных вод урбоэкосистем.*
- 3. Практика обращения с отходами в Республике Беларусь.*
- 4. Принципы озеленения в городах Беларуси.*
- 5. Требования к ландшафтно-рекреационным комплексам в условиях городских поселений и пригородных зон Беларуси.*

**1. Основные источники загрязнения и экология воздушной среды.** Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории Беларуси являются: автотранспорт; объекты энергетики; промышленные предприятия. В составе выбросов в атмосферу преобладают оксид углерода – 55,2 %, углеводороды – 18,6 % и оксиды азота – 10,6 %. Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (87,0 %) и оксидов азота (60,2 %) обусловлена работой автотранспорта.

В структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от мобильных источников г. Минск занимает второе место, опережая по этому показателю Брестскую, Витебскую, Гомельскую, Гродненскую, Могилевскую области.

В целях сокращения объемов выбросов от мобильных источников и снижения загрязнения атмосферы успешно реализуется Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года, нацеленная среди прочего на:

увеличение общего объема электрификации железнодорожных линий с общим сокращением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от мобильных источников Белорусской железной дороги на 20%;

развитие маршрутной сети наземного городского электрического транспорта для доведения доли электрифицированного общественного транспорта до 40% в пассажироперевозках.

Республика Беларусь приняла решение о развитии электротранспорта, как национального приоритета. Существенно обновлены транспортные парки. Белорусскими производителями освоен выпуск электробусов, техники, соответствующей экологическим стандартам Евро-5 и Евро-6, а также оснащенных двигателями, работающими на компримированном природном газе.

Согласно требованиям Технологического регламента Таможенного союза ТР ТС 013/2011, на территории Республики Беларусь с 1 января 2014 г. реализуется бензин, соответствующий экологическому классу К5,

с 1 января 2015 г. введен запрет на выпуск в обращение дизельного топлива экологического класса ниже К5.

В структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников доля обрабатывающей промышленности составляет 38,3 %, сельского хозяйства – 37,2 %, снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой – 13,7 %, транспортная деятельность – 5,6 %, на остальные виды деятельности приходится – 5,2 %.

Для оценки состояния атмосферного воздуха в республике используют максимальные разовые, среднесуточные и среднегодовые предельно допустимые концентрации (далее – ПДК) загрязняющих веществ. Средние за год концентрации загрязняющих веществ, измеренные на автоматических станциях с непрерывным режимом работы и на стационарных пунктах с дискретным режимом отбора проб в сроки 1, 7, 13 и 19 часов сравнивают с ПДК среднегодовыми. Для станций с дискретным режимом отбора проб в сроки 7, 13 и 19 часов полученные значения сравнивают с максимально разовыми ПДК.

Пространственная структура выбросов загрязняющих веществ на территории Беларуси неоднородна. Анализ данных о среднегодовых концентрациях основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов республики в 2019 г. показал, что наибольшее их содержание характерно для г. Брест (1522,2 мкг/м<sup>3</sup>), г. Бобруйск (1505,0 мкг/м<sup>3</sup>), г. Пинск (1130,0 мкг/м<sup>3</sup>), г. Орша (1106,0 мкг/м<sup>3</sup>).

## **2. Использование и экология природных вод урбоэкосистем.**

Природные воды Беларуси используются на: хозяйственно-питьевое водоснабжение; производственные нужды; гидроэнергетику; судоходство; рекреацию; рыбо-прудовое хозяйство; орошение. Использование воды на хозяйственно-питьевые нужды остается основной составляющей в использовании воды по республике. В структуре общего водозабора на долю подземных вод в республике приходится более 50 %.

Состояние поверхностных водных объектов, в первую очередь, зависит от поступления в них загрязняющих веществ в составе сточных вод. Антропогенная нагрузка на водные объекты формируется как за счет точечных (стационарных) источников загрязнения, так и рассредоточенных (диффузных). Согласно данным государственного водного кадастра в 2020 году в поверхностные водные объекты сброшено 1034,5 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, что составляет 90 % от общего объема сброса сточных вод в окружающую среду (в 2019 году – 89,8 %). При этом сброс в водотоки увеличился на 10,1 млн. м<sup>3</sup>, а в водоемы – на 5,3 млн. м<sup>3</sup>. На долю Минской области и г. Минска приходится 28% от общего объема сточных вод, на долю Брестской, Гомельской, Витебской областей и областных центров – по 16 %. Гродненская и Могилевская области и областные центры испытывают наименьшую нагрузку от сброса сточных вод. На их долю приходится по 12 % от общего объема.



Приоритетными веществами, превышения нормативов качества воды по которым фиксируются чаще других, являются биогенные (аммоний-ион, нитрит-ион, фосфат-ион) и трудноокисляемые органические вещества (по ХПК<sub>Cr</sub>), большая часть которых попадает в водные объекты со сточными водами предприятий и в результате диффузного загрязнения с прилегающих территорий. Повышенные концентрации железа общего, меди, марганца обусловлены, в основном, природными факторами.

Наряду с наблюдениями за гидрохимическим составом, проводятся режимные наблюдения на водных объектах за гидрологическими показателями качества поверхностных вод. В результате которых осуществляются регулярные наблюдения за основными сообществами пресноводных экосистем: фитопланктоном, зоопланктоном и макрозообентосом. Отбор гидробиологических проб проводится одновременно с гидрохимическими, а сроки отбора совпадают с характерными гидрологическими фазами и периодами вегетации.

Оценка качества поверхностных вод проводится с помощью методов биоиндикации, основывающихся на изучении структуры гидробиоценозов и их отдельных компонентов. Для биоиндикации с помощью планктонных сообществ и водорослей обрастания используется метод сапробиологического анализа Пантле и Букка в модификации Сладечека; биоиндикация по зообентосу проводится с использованием индекса Гуднайта-Уитле и биотического индекса по Вудивиссу.

К поверхностным водным объектам, наиболее подверженным антропогенной нагрузке, относятся участки рек: Свислочь н.п. Королищевичи, Лошица в черте г. Минск, Плисса в районе г. Жодино (бассейн р. Днепр); Мухавец в районе г. Кобрин, Западный Буг, Лесная Правая у н.п. Каменюки, р. Рудавка (бассейн р. Западный Буг); Ясельда ниже и выше г. Березы, Морочь у н.п. Яськовичи, Льва, Горынь (бассейн р. Припять); Уша ниже г. Молодечно (бассейн р. Неман).

Основным направлением повышения рационального использования водных ресурсов является сокращение удельного водопотребления, непроемительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий, увеличения объемов повторного использования очищенных сточных вод, в том числе поверхностных сточных вод.

### **3. Практика обращения с отходами в Республике Беларусь.**

Все многообразие твердых отходов, образующихся на территории Беларуси в процессе хозяйственной и бытовой деятельности, может быть отнесено к трем основным группам:

- твердые промышленные отходы;
- твердые бытовые отходы;
- осадки сточных вод.

Система обращения с отходами в Республике Беларусь определена следующими параметрами: объемом образуемых отходов на человека в год;

массой отходов, направляемой на переработку; величиной отходов, подвергаемыми переработке с повторным использованием (рециклом), компостированием, сжиганием; количеством отходов, направляемых на захоронение.

*Законодательная база по обращению с отходами в Республике Беларусь.* Формирование и реализация государственной политики в жилищно-коммунальном хозяйстве и координация деятельности в этой сфере других республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, закреплено за Министерством жилищнокоммунального хозяйства (далее – МЖКХ) постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 июля 2006 года № 968.

Специально уполномоченной организацией, созданной в 2012 году МЖКХ для координации деятельности в сфере обращения со вторичными материальными ресурсами, в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 11 июля 2012 года № 313, является Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов».

Основополагающим документом, регулирующим правовые основы обращения с отходами, направленным на уменьшение объемов образования отходов и предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду, здоровье граждан, имущество, находящееся в собственности государства, имущество юридических и физических лиц, на максимальное использование отходов, в том числе вовлечение отходов в гражданский оборот, является Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 года № 271-З «Об обращении с отходами» (далее – Закон «Об обращении с отходами»).

В поддержку Закона «Об обращении с отходами» приняты подзаконные нормативные акты (регламенты, технические стандарты, санитарные нормы и др.), утвержденные постановлениями Совета Министров, Минприроды, МЖКХ, Минздрава. Деятельность, касающаяся сбора и использования вторичного сырья, регламентируется указами Президента Республики Беларусь.

*Обращение с отходами производства.* Установлено, что каждые пять лет наблюдается скачок объема образования отходов в республике. Номенклатура промышленных отходов включает около 800 наименований. Наибольшими объемами выделяются галитовые отходы и глинисто-солевые шламы калийных производств, на долю которых приходится 79 % общей массы отходов. Если рассматривать структуру образования отходов производства без учета отходов переработки калийных руд и фосфогипса, то в общей массе отходов (20515,56 тыс. тонн) доля отходов минерального происхождения составляет 55,88 %, отходов растительного и животного происхождения – 24,39 %, отходов жизнедеятельности населения и подобных им отходов промышленности – 4,30 %, отходов химических производств и производств, связанных с ними – 4,37 %, отходов (осадков) водоподготовки котельно-теплого 98 хозяйства и питьевой воды, очистки

сточных, дождевых вод и использования воды на электростанциях – 10,92 % и медицинских отходов – 0,14 %. Без учета галитовых отходов, глинисто-солевых шламов и фосфогипса в 2020 г. 21,58 % отходов образуется на предприятиях, расположенных в Минской области; 22,57 % – в Могилевской; 14,51 % – в г. Минске; 14,12 % – в Гомельской; 11,50 % – в Гродненской; 10,81 % – в Брестской; 4,93 % – в Витебской области.

*Обращение с твердыми коммунальными отходами.* Работа в сфере обращения с коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами (далее – ВМР) ведется по следующим программным и стратегическим документам: Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 июля 2017 года № 567, которая предусматривает достижение уровня использования ТКО в Республике Беларусь в 64 % от объема их образования до 2025 года и до 90 % – к 2035 году. Для достижения этих стратегических целей предусмотрена система мероприятий, направленных на сближение существующей в Республике Беларусь практики с мировым опытом, доказавшим свою эффективность: модернизация системы обращения с ТКО с развитием системы отдельного сбора отходов и созданием объектов по сортировке и использованию ТКО; использование ТКО для производства топлива для белорусской цементной промышленности и для получения тепловой и электрической энергии; использование органической части ТКО для благоустройства и рекультивации территорий; создание дополнительных производств по переработке отходов пластмасс; создание высокоэффективной системы сбора отходов упаковки через внедрение депозитной (залоговой) системы обращения потребительской упаковки; создание современных региональных полигонов для обеспечения безопасного захоронения непригодной для использования части коммунальных отходов. Подпрограмма «Цель 99» Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021 – 2025 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 года № 50 (далее – подпрограмма «Цель 99»), которая является основополагающим программным документом, определяющим основную задачу в сфере обращения с коммунальными отходами в стране – минимизация объема захоронения ТКО с обеспечением в 2025 году доли их повторного использования не менее 64 % от объема образования. Подпрограмма «Цель 99» устанавливает целевые показатели: необходимые объемы сбора всех видов ВМР на каждый год до 2025 года по стране и регионам; организационный отчет за 2020 год, инвестиционные мероприятия, которые должны обеспечить достижение целевых показателей. С 2019 года Концепция создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения, утвержденная постановлением Совета Министров Республики

Беларусь от 23 октября 2019 года № 715, предусматривает вывод из эксплуатации всех мини-полигонов для захоронения ТКО до 31 декабря 2021 года и создание 30 региональных комплексов по сортировке, использованию коммунальных отходов с полигонами для захоронения ТКО, соответствующими современным природоохранным требованиям. Правила обращения с ТКО, в том числе сбор, разделение по видам, подготовка, сортировка, хранение, удаление, учет, нормирование, определение морфологического состава коммунальных отходов потребления и коммунальных отходов производства установлены ТКП 17.11-08-2020 (33040/33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с коммунальными отходами», утвержденным постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 30 июня 2020 года № 13/4-Т.

Таким образом, функционирование системы обращения с отходами в Республике Беларусь основано на принципе приоритетности использования отходов по отношению к их обезвреживанию или захоронению. Обобщенные данные об объемах образования, использования, обезвреживания и захоронения ТКО, объектах сортировки, использования коммунальных отходов: всего за 2020 год в Республике Беларусь образовано 4070,4 тыс. тонн ТКО. Наибольший объем образования наблюдается в г. Минске 785,7 тыс. тонн или 19,30 %, 15,83 % (644,3 тыс. тонн) – в Минской области; 14,57 % (593,1 тыс. тонн) – в Витебской области; 14,57 % (593,1 тыс. тонн) – в Гомельской области; 14,12 % (574,8 тыс. тонн) – в Брестской области; 11,46 % (466,4 тыс. тонн) – в Могилевской области и 10,15 % (413,2 тыс. тонн) – в Гродненской области.

Объекты захоронения включают 158 полигонов ТКО (2872,2 тыс. тонн) и 293 мини-полигонов (179,5 тыс. тонн). В стране функционирует 6 мусороперерабатывающих заводов общей мощностью 464 тыс. тонн в год, на которых за 2020 год пропущено 288,2 тыс. тонн ТКО и извлечено 50 тыс. тонн ВМР.

**4. Принципы озеленения в городах Беларуси.** В городах Беларуси, наряду с искусственно созданными ландшафтно-рекреационными объектами, часто сохраняются относительно мало трансформированные естественные экосистемы, а при расширении границ в них вовлекаются природно-территориальные комплексы ближайших пригородов с перспективой дальнейшего градостроительного освоения.

В целом в городах страны (без учета городских и районных поселков) 4,6 % общегородских территорий занимают леса (без учета лесопарков, переданных городскому хозяйству). Луга составляют 4,6 % площади городов (3,3 % – приходится на естественные луга). Под водными

объектами и болотами находится соответственно 2,9 и 1,4 %, под древесно-кустарниковой растительностью – 5,2 % городских территорий.

Лесной фонд в пределах городов включает не только покрытую лесом площадь, но также ландшафтные поляны и прогалины, болота и водные объекты, пляжи и спортивные площадки.

Если рассматривать структуру лесных пород на территории г. Витебска, то 66,6 % приходится на сосновые леса, 20 % – на сероольховые, остальное занимают борадавчато-березовые, осиновые, тополевые и черноольховые леса.

На структуру леса в городах определенное влияние оказывают:

- размещение территории на относительно возвышенных участках,
- изменение рельефа и гидрографической ситуации в процессе застройки территории,
- особенности природопользования в прошлом.

Например, в Витебске, по сравнению с региональным лесорастительным комплексом с высокой долей пушистоберезовых и черноольховых лесов, их доля в составе лесов города существенно ниже. Лесные территории расположены в основном в северной части города, их доля в составе ландшафтно-рекреационного комплекса составляет 41 %. Городские и пригородные леса приурочены к подзоне дубово-темнохвойных лесов, Западно-Двинскому округу, Суражско-Лучосском лесорастительному району. Леса в пределах города по разнообразию типов небогаты. Здесь представлены в основном сосняки мшистой, орляковой и черничной серий. Леса пригорода представлены главным образом ельниками и сосняками кисличной, черничной и орляковой серий. Также присутствуют березняки, осинники, сероольшаники, дубравы и другие типы леса.

Возраст древостоев в городских лесах во многом определяет их средообразующий и рекреационный потенциал, а также устойчивость к антропогенному воздействию. Так, более высоким газопродуктивным и газопоглощающим потенциалом обладают молодые и средневозрастные насаждения. Однако молодые посадки менее устойчивы к рекреационным нагрузкам. Средний возраст древостоев естественного происхождения в лесах г. Витебска составляет 50 лет.

Правовая основа охраны, защиты, воспроизводства, содержания, изъятия, удаления, пересадки объектов растительного мира и пользования ими, а также озеленения определена Законом Республики Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-З «О растительном мире».

Правила проведения озеленения и нормативы в этой области устанавливаются Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь по согласованию с Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Один из показателей качества организации городской среды – уровень озелененности городской территории, который, наряду с ведущими социально-экономическими показателями (обеспеченность жильем, водой, транспортом, рециклинг отходов и др.), является важным индикатором устойчивого развития городов.

Согласно градостроительным нормам, уровень озелененности поселений республики должен составлять не менее 40 %, а в границах жилой или смешанной застройки не ниже 25 %, в курортных городах этот показатель увеличивается на 15 %. Для крупных городов Беларуси, в том числе для г. Витебска норма обеспеченности населения зелеными насаждениями составляет 15 м<sup>2</sup> / чел.

**5. Рейтинг экологического развития регионов Республики Беларусь.** Расчёт рейтинга экологического развития регионов Республики Беларусь за 2020 год проведен для Республики Беларусь соответствии с ТКП 17.02-19-2021 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Рейтинг экологического развития регионов Республики Беларусь. Технические требования». Рейтинг экологического развития регионов (районов, областных центров и г. Минска) Республики Беларусь складывается из совокупности показателей, принятых и используемых республикой для реализации норм и принципов устойчивого развития, характеризующих антропогенную нагрузку на окружающую среду в стране и эффективность реализуемых мероприятий в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Разработанная методология рейтинга экологического развития регионов позволяет ранжировать отдельно города (областные центры и г. Минск) по 31 показателю и отдельно районы Республики Беларусь по 37 показателям. В 2021 году составление рейтинга экологического развития проведено впервые в Республике Беларусь для областных центров и г. Минска за 2020 год. Для составления рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска использован 31 показатель в трех категориях, каждая из которых имеет свой относительный вес (вклад) в итоговый рейтинг:

Категория 1. Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды – 30 %.

Категория 2. Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду – 30 %.

Категория 3. Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики – 40 %. При этом в каждой из трех категорий выделено от 3 до 5 групп показателей, а каждая группа включает от 1 до 4 показателей.

Категория «Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды» по совокупности 8 показателей позволяет оценить экологическое состояние городов по текущему состоянию отдельных компонен-

тов окружающей среды – водные ресурсы, атмосферный воздух, земельные ресурсы и биоразнообразие.

Категория «Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду» по совокупности 11 показателей позволяет провести комплексную оценку уровня воздействия на окружающую среду в пределах города производственной сферы, жилищно-коммунального хозяйства, обращения с отходами, энергетики и транспорта.

Категория «Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики» по совокупности 12 показателей позволяет комплексно оценить уровень реализации экологической политики на местном уровне, включая вопросы финансирования мероприятий по охране окружающей среды, вопросы экологического образования и просвещения, а также уровень вовлечения общественности в вопросы управления окружающей средой и распространения экологической информации.

Итоговый результат расчёта рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска с распределением мест за 2020 год приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты бального расчёта рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска за 2020 год

Город	Итого по категории 1 «Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды»	Итого по категории 2 «Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду»	Итого по категории 3 «Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики»	Итоговые расчётные баллы рейтинга	Место в рейтинге
Брест	270	368	205	273	2
Витебск	189	56	66	100	6
Гомель	264	250	83	187	5
Гродно	178	232	399	283	1
Минск	104	251	214	192	4
Могилев	79	216	356	231	3

*Комплекс мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки в разрезе областей и г. Минска.*

Комплекс мероприятий, направленных на снижение объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников загрязнения в целом для Республики Беларусь, включает в себя следующие направления: электрификация транспорта; применение высокотехнологичного производственного оборудования; модернизация систем очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников загрязнения. *Электрификация*

*транспорта* – комплексная задача, включающая процессы перехода на электрифицированные транспортные средства от легковых и грузовых автомобилей до самолетов. В целях сокращения объемов выбросов от мобильных источников и снижения загрязнения атмосферы успешно реализована Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года, итогами которой явилось: увеличение общего объема электрификации железнодорожных линий с общим сокращением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от мобильных источников Белорусской железной дороги на 20 %; развитие маршрутной сети наземного городского электрического транспорта для доведения доли электрифицированного общественного транспорта до 40 % в пассажироперевозках. В целом, для снижения выбросов в атмосферный воздух для предприятий требуется планомерное сокращение использования твердого топлива с переходом на жидкое или газ, а для предприятий, использующих жидкое топливо, – переход на газ. По результатам расчета рейтинга экологического развития городов за 2020 год предложены также мероприятия по снижению антропогенной нагрузки на атмосферный воздух для областных центров и г. Минска: реализация мер для повсеместного увеличения экологических транспортных средств в собственности физических лиц и организаций, прежде всего, в г. Могилеве, г. Витебске и г. Гомеле, где их удельное количество составляет менее 2 единиц на 10000 человек; проведение мероприятий, направленных на повышение удельного веса уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ в общем количестве отходящих загрязняющих веществ в г. Могилеве (удельный вес уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ в общем количестве отходящих загрязняющих веществ в г. Могилеве составил 28,4 % в 2020 году, в остальных городах показатель находится на уровне 76,6 – 93,4 %); развитие мощностей по использованию ВИЭ в г. Витебске (в настоящее время отсутствуют).

В целом для Республики Беларусь *комплекс мероприятий в отношении обращения с отходами включает*: разработку схем мониторинга и объема определяемых показателей с учетом специфических особенностей количественного и качественного состава отходов животноводческих комплексов крупного рогатого скота, свинокомплексов и птицефабрик; разработку программы по альтернативному использованию отходов животноводческих стоков с учетом опыта стран Таможенного союза и передового мирового опыта, в том числе и для использования по выработке биогаза для производства электроэнергии и биоудобрений, которые позволят решать экологические, экономические, социальные, энергетические и модернизационные проблемы, стоящие перед страной; мероприятия в области совершенствования системы обращения с отходами и сокращения использования полимерной упаковки, проведения научных исследований, производства



и использования экологически безопасной упаковки, технического регулирования и сокращения импорта полимерной упаковки, а также в области информационно-просветительской работы среди населения, детей и молодежи; мероприятия по выводу из эксплуатации 100 % оборудования, содержащего ПХБ; меры по обеспечению использования в 2025 году не менее 64% ТКО от объема их образования согласно Концепции создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения; создание 30 полигонов для захоронения ТКО, 8 станций перегрузки ТКО и 27 объектов по сортировке и использованию ТКО (кроме существующих современных производств по сортировке ТКО в г. Бресте и г. Гродно); строительство мусороперерабатывающих заводов в областных центрах и городах с населением свыше 100 тыс. человек и в городах с населением свыше 70 тыс. человек – к 2025 году; постепенный вывод из эксплуатации оборудования, содержащего ПХБ с заменой на новое оборудование, к 2022 году должен составить 30 % к уровню 2020 года.

*Комплекс мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на водные ресурсы, должен быть ориентирован, в первую очередь, на оптимизацию и повышение эффективности водопользования, а также снижение поступления загрязняющих веществ в составе сточных вод в окружающую среду. К основным мероприятиям в целом для Республики Беларусь также можно отнести: увеличение доступа населения к централизованным системам питьевого водоснабжения и водоотведения; повышение надежности системы безопасности питьевой воды в современных условиях, включая совершенствование законодательства в области контроля качества воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения; повышение эффективности очистки сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты; совершенствование системы учета и контроля качества поверхностных сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты; охрана и благоустройство поверхностных водных объектов, включая родники; развитие информационных систем для управления водными ресурсами; повышение осведомленности населения об экологическом состоянии водных объектов.*

*Принципы «зеленой» экономики.* В Республике Беларусь намечена тенденция перехода к устойчивым моделям экономики, одной из которых считается «зеленая» экономика. За последние три десятилетия «зеленая» экономика не только заняла центральное место в глобальной повестке дня, но и выступает активным драйвером экономического роста, содействуя достижению целей устойчивого развития. Республика Беларусь активно внедряет принципы «зеленой» экономики в такие сферы как энергетика, транспорт и сельское хозяйство. Большая работа, в том числе в рамках международного сотрудничества, ведется в направлении сохранения биологического разнообразия и охраны ценных ландшафтов, развития

ресурсоэффективного и чистого производства, модернизации сферы обращения с отходами. В 2020 году завершена реализация мероприятий Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 года, утвержденного 126 постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 декабря 2016 года № 1061 (далее – Национальный план). В рамках Национального плана реализовывалось 40 мероприятий по 8 направлениям: институциональная деятельность; развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности, внедрение концепции «умных» городов; энергоэффективное строительство; энергетика; органическое сельское хозяйство; устойчивое потребление и производство; экологический туризм; информационные, образовательные мероприятия. Основным направлением большинства программ в сфере «зеленой экономики» является переход к углеродной нейтральности к 2050 году, что подразумевает наращивание использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), низкоуглеродного транспорта, переход на низкоуглеродное производство. Приоритетными направлениями развития «зеленой экономики» в Беларуси на период до 2025 года будут являться электротранспорт и городская мобильность, энергетика, включая ВИЭ, устойчивое потребление и производство, устойчивый туризм, инновационные «зеленые» и цифровые технологии.

### **Контрольные вопросы:**

1. В чем основные принципы Стратегии по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года?
2. Назовите основные градостроительные нормы уровня озелененности в городах Беларуси.
3. Каковы основные мероприятия по снижению антропогенной нагрузки на атмосферный воздух для областных центров и г. Минска?
4. Каковы основные мероприятия, направленные на снижение антропогенной нагрузки на водные ресурсы, в том числе в городах Беларуси?
5. Каковы приоритетные направления по обращению с отходами на территории Беларуси?
6. Перечислите приоритетные направления развития «зеленой экономики» в Беларуси.

# ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## МОДУЛЬ 1

### Лабораторная работа № 1 Оценка экологической совместимости населенных мест и природной среды

**Цель работы:** рассчитать производственные показатели, оценить демографическую емкость территории.

#### Контрольные вопросы:

1. Пределы градостроительной емкости территории; полное, условное и относительное экологическое равновесие экосистемы.
2. Понятие биоэкономической территориальной структуры. Зоны хозяйственной активности, буферная и компенсационная, их функции.
3. Стратегия урбоэкологического зонирования территорий планировочных районов по их демографической емкости. Создание природных каркасов.
4. Концепция устойчивого развития городов.
5. Пути оптимизации городской среды.

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе.

**Задание 1.** Произвести расчет и анализ частных емкостей территории по исходным показателям:  $S$  (площадь территории) = 600 км<sup>2</sup>;  $t_{н.о.} = -20^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta S_{лес} = 0,25$ ;  $S_{раст.} = 100$  км<sup>2</sup>;  $K_{тер1} = 0,4$ ,  $K_{тер2} = 0,3$ ,  $K_{тер3} = 0,3$ ;  $G_m = 4\text{ м}^3/\text{с}$ ;  $P_{ж} = 0,4$  м<sup>3</sup>/чел. в сут;  $k_{расх} = 1,8$ .

Работа выполняется по вариантам: 1 вариант  $K_{акт} = 1,5$ ; 2 вариант  $K_{акт} = 2,0$ ; 3 вариант  $K_{акт} = 2,5$ .

По полученным результатам  $N_1$ - $N_4$  заполнить таблицу 1. Произвести анализ частных емкостей территорий: выявить показатели с критической нагрузкой, на основании чего сделать вывод о наиболее уязвимых звеньях при планировании территории. Отметить возможные пути увеличения ДЕТ по критическому показателю.

Таблиц 1 - Производственные показатели оценки допустимой емкости территории

Показатель хозяйственной активности, $K_{акт}$	Частные значения допустимой емкости территории, тыс. чел.			
	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$
1,5				
2,0				
2,5				

## Ход работы:

I этап. На первом этапе выявляют значение исходных показателей. Эти показатели объединяют в четыре группы.

### 1. группа – территориальные показатели:

- общая площадь района ( $S$ );
- площадь урбанизированных территорий: всех населенных мест, отдельно стоящих промышленных и коммунально-складских зон, внегородских транспортных коммуникаций и объектов дорожного хозяйства ( $S_y$ );
- площадь урбанизированных территорий, выделяемая для новых поселений или расширения существующих ( $S_y^r$ );
- площадь растительного покрова, но без лесов и пашенных земель, существующего ( $S_{\text{раст}}$ ) и по проекту планировки ( $S_{\text{раст}}^r$ );
- общая площадь территорий интенсивного сельскохозяйственного использования, существующая ( $S_{CX}$ ) и намечаемая для расширения сельскохозяйственной базы и пригородного садоводства ( $S_{CX}^r$ );

### 2. группа – показатели, характеризующие гидросферу.

- кратность водообмена, которая зависит от скоростей течения. Они должны превышать 0,2 м/с;
- расходы воды, которые не должны быть меньше 5 м<sup>3</sup>/с;
- меженные расходы  $G_M$  в пригодных для водопотребления водоемах и водотоках на входе в изучаемый район, м/с.

**3. группа** – показатели, характеризующие свойства биосферы – растительных сообществ по ведущим факторам, лимитирующим экологическую устойчивость системы. Эти факторы включены в таблицу 2.

**4. группа** – показатели, характеризующие потребление природных ресурсов.

а) *Уровень хозяйственной активности жителей населенных мест.* Его выражают коэффициентом  $K_{акт}$ . При минимальной активности промышленно-хозяйственной деятельности  $K_{акт} = 1,5$ , при средней  $K_{акт} = 2$ , а при высокой  $K_{акт} = 2,5$ .

б) *Структура потребляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).* В практике обычно используют:

- 1) электроэнергию;
- 2) жидкое топливо и природный газ;
- 3) твердое топливо, уголь, сланец и т.д.

Суммарную величину ТЭР определяют как сумму долей используемых видов в общем балансе энергоносителей и представляют в виде  $TЭР = K_{тер1} + K_{тер2} + K_{тер3} = 1$ .

Таблица 2 - Ведущие факторы растительных сообществ, лимитирующие экологическую устойчивость системы

Растительные сообщества	Минимально допустимая доля		Среднегодовой радиационный баланс $R$ , ккал/см <sup>2</sup> в год	Интенсивность газообмена, т/га в год		Продукция массы сухого вещества $C$ , т/га в год
	лесистости $\Delta S_{лес}$ , %	особо охраняемых зон $\Delta S_{охр}$ , %		$q$ (CO <sub>2</sub> )	$q$ (O <sub>2</sub> )	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Природные</b>						
Лесотундра	–	90	10-20	1,6	1,2	0,1
Северная и южная тайга	20	80	20-30	5,0	3,8	3,0
Южная тайга	25	45	30-35	7,6	6,0	4,8
1	2	3	4	5	6	7
Смешанные леса	25	30	35-40	9,0	6,7	5,7
Широколиственные леса	30	25	35-40	14,5	10,2	9,0
Лесостепи	12	35	40-45	6,5	5,0	4,0
Степи	7	40	45-50	4,5	3,3	3,0
Полупустыни	–	40	45-55	1,0	0,75	0,7
<b>Антропогенные (в условиях смешанных и широколиственных лесов средней полосы)</b>						
Сельхозугодья	–	–	–	4,8-7,2	3,5-5,4	3-4,5
Парки и лесопарки	–	–	–	6,3-8,2	4,7-6,2	0,7
Озелененное населенное место	–	–	–	1,0-1,3	0,8-1,0	0,6-0,8

в) Расход воды на жилищно-коммунальные и промышленные нужды. Его определяют по планируемой норме водопотребления на одного жителя. Если в структуре промышленности нет водоемких производств, то промышленные расходы воды учитывают, вводя коэффициент  $K_{вод}$ . По статическим данным его можно принимать порядка  $K_{вод} = 1,7$ .

II этап. На втором этапе определяют производственные показатели, необходимые для обоснования экологической емкости территории.

Частную емкость территории по расходу энергии ( $E_1$ ) определяют, исходя из того, что критерием является безопасный максимум использования энергии у поверхности земли. Тогда емкость тут/год рассчитывают по формуле:

$$E_1 = 4,29 RS \quad (1)$$

где 4,29 – коэффициент пересчета величины 0,003 ккал/см<sup>2</sup>/год в тут/км<sup>2</sup> в год;  $R$  – среднегодовой радиационный баланс территории, ккал/см<sup>2</sup> в год;

$S$  – площадь территории исследуемого района, км<sup>2</sup>. Исходя из этого частная демографическая емкость территории, вычисленная по возможностям потребления энергии (емкости  $E_1$ ), будет равна:

$$N_1 = E_1 / K_{\text{акт}} \cdot \text{Эуд} \quad (2)$$

где  $N_1$  – допустимое количество жителей района, чел., при разном значении коэффициента  $K_{\text{акт}}$ ,  $\text{Эуд}$  – нормативная величина удельного годового энергопотребления одним жителем на жилищно-коммунальные нужды в различных климатических условиях, тут./чел год. Эту величину рассчитывают по формуле:

$$\text{Э}_{\text{уд}} = 0,65 - 0,02 (\text{тн.о.} + 5) \quad (3)$$

где *тн.о.* – расчетная температура наружного воздуха, которую принимают в расчете отопления зданий в пределах *тн.о.* < -5<sup>0</sup>С как среднюю температуру наиболее холодной пятидневки.

2. Частную емкость территории по условиям эмиссии углекислого газа в атмосферу ( $E_2$ ) определяют с учетом ассимиляционной способности растительного покрова района. При расчете учитывают, что растительные сообщества не однородны. Поэтому данные, приведенные в графе 5 табл.2, корректируют поправочными коэффициентами.

$$E_2 = 0,07(S \cdot \Delta S_{\text{лес}} \cdot \alpha + S_{\text{раст}} \cdot \rho) q(\text{CO}_2) 100, \text{ т}(\text{CO}_2)/\text{год} \quad (4)$$

где  $S$  – площадь территории района, км<sup>2</sup>;  $\Delta S_{\text{лес}}$  - показатель лесистости, доли единицы;  $S_{\text{раст}}$  – площадь растительного покрова без лесов и пашен, км<sup>2</sup>;  $q(\text{CO}_2)$  – интенсивность газообмена – ассимиляции углекислого газа растительным сообществом, т/год, принимается по табл. 2;  $\alpha$  – поправочный коэффициент к показателю лесистости, принимаемый по табл. 3;  $\rho$  – то же, к показателю площади растительного покрова, принимаемый по той же таблице.

Таблица 3 – Значения поправочных коэффициентов в зависимости от типа растительных сообществ

Тип растительного сообщества	Значения поправочных коэффициентов	
	$\alpha$	$\rho$
Смешанные, широколиственные и таежные леса	1,3	0,85
Лесостепи и степная зоны	1,4	0,9

Исходя из полученной величины  $E_2$  определяют частное ДЕТ по условию эмиссии углекислого газа. Демографическая нагрузка будет равна:

$$N_2 = E_2 / K_{\text{акт}} \cdot \text{Эуд} (1,2 \cdot k_{\text{тэп}2} + 3,3 \cdot k_{\text{тэп}3}) + 0,32 \quad (5)$$

где  $N_2$  – допустимое количество жителей по второму условию, чел.;  $k_{\text{тэп}2}$  – относительная величина использования второго вида ТЭР в топливно-

энергетическом балансе территории;  $k_{тэpz}$  – то же, третьего вида; 1,2 и 3,3 – коэффициенты, которыми учитывают выделяемый  $CO_2$  при сжигании 1 т второго и третьего видов; 0,32 – среднее количество углекислого газа, выделяемого в процессе жизнедеятельности человека, т( $CO_2$ )/чел. в год.

3. Частную емкость территории по условию воспроизводства кислорода атмосферой ( $E_3$ ) определяют, учитывая нормы его изъятия.

$$E_3 = 0,12 \cdot q(O_2) (S \cdot \Delta S_{лес} \cdot \alpha + S_{раст} \cdot \rho) \cdot 100, \text{ т}(O_2)/\text{год},$$

где  $q(O_2)$  – интенсивность газообмена – воспроизводства кислорода растительным сообществом, т/год, принимаемая по табл.1.

Тогда частную допустимую нагрузку или ДЕГ по расходу кислорода определяют по формуле:

$$N_3 = E_3 / 2,5 K_{акт} \cdot \text{Эуд} (1 - k_{тэp1}) + 0,29 \quad (6)$$

где  $N_3$  – допустимое количество жителей района по условиям воспроизводства кислорода, чел.; 2,5 – коэффициент, которым учитывают изъятие кислорода стационарными и мобильными объектами, включая транспорт, при сжигании органического топлива разного состава, т/тут;  $k_{тэp1}$  – потребляемое количество электроэнергии в структуре топливно-энергетического баланса территории, доли единицы; 0,29 – среднее количество кислорода, поглощаемое человеком в процессе жизнедеятельности, т/чел, в год.

4. Частную емкость территории,  $m^3/\text{сут}$ , по наличию ресурсов поверхностных вод ( $E_4$ ) определяют по формуле:

$$E_4 = K_{вод} \cdot G_M \cdot 86400 \quad (7)$$

где  $G_M$  – меженный расход воды в пригодных для водозабора водоемах и водотоках, м<sup>3</sup>/с;  $K_{вод}$  – предел экологически безопасного изъятия воды всеми пользователями. Оптимальное значение  $K_{вод} = 0,1$ .

Частная ДЕГ по расходу воды на жилищно-коммунальные нужды проверяется по формуле:

$$N_4 = E_4 / P_{ж} \cdot K_{акт} \cdot k_{расх} \quad (8)$$

где  $N_4$  – допустимая численность населения по условиям обеспечения водой бытовых, коммунальных и производственных нужд, чел.;  $P_{ж}$  – планируемая норма среднесуточного водопотребления с учетом коммунально-бытовых нужд. Эта норма принимается в пределах  $0,35 < P_{ж} < 0,5$ , м<sup>3</sup>/чел. в сут;  $k_{расх}$  – повышающий коэффициент, которым учитывают характер водопотребления. При отсутствии таких водоемких производств, как обогащение полезных ископаемых, металлургия, электроэнергетика, целлюлозно-бумажное и др., а также орошаемых земель, на основании статистических данных повышающий коэффициент принимают в пределах  $1,7 < k_{расх} < 1,9$ .

**Задание 2.** Произвести оценку условий совместимости антропогенной и природной подсистем, для района площадью ( $S$ ) равной 900 км<sup>2</sup>,

$S_y=90 \text{ км}^2$ ,  $S_{cx}=30 \text{ км}^2$ ,  $S_y^r = 10 \text{ км}^2$ ,  $S_{cx}^r = 20 \text{ км}^2$ ,  $S_{расст}=100 \text{ км}^2$ ,  $N_g = 150 \text{ чел./км}^2$ .

*Первое условие – соотношение территорий хозяйственного использования и охраняемых.* Критерием выполнения этого условия является соотношение:

$$\Delta S_{охр} > (1 - S_{ХОЗ}/S)100 \quad (9)$$

где  $\Delta S_{охр}$  - доля особо охраняемых зон естественной природы, определяемая по табл. 1 в зависимости от вида растительного сообщества;  $S$  - общая площадь рассматриваемого района,  $\text{км}^2$ ;  $S_{ХОЗ}$  - площадь территорий интенсивного хозяйственного использования,  $\text{км}^2$ . Территория  $S_{ХОЗ}$  включает земли, занятые существующими и проектными урбо- и агроценозами. Эту величину представляют:

$$S_{ХОЗ} = (S_y + S_{cx}) + (S_y^r + S_{cx}^r) \quad (10)$$

*Второе условие – плотность населения – связанное с суммарным энергопотреблением.*

$$P_{н.э.} = N_g (1 - k_{тэп1}) S \quad (11)$$

где  $N_g$  – допустимая численность населения,  $\text{чел./км}^2$ ,  $k_{тэп1}$  – доля использования электроэнергии в ТЭР, произведенной вне территории.

*Третье условие – способность биосферы к воспроизводству ресурсов –* устанавливают степень репродуктивности биотической составляющей системы.

$$I_p = P^r / P_э \quad (12)$$

где  $P^r$  – ожидаемая биопродуктивность по проекту,  $P_э$  – то же, эталонная для данного природного сообщества.

Эталонную биопродуктивность  $P_э$ , т/год, ориентировочно определяют по формуле:

$$P_э = 100 C (S \cdot \Delta S_{лес} \cdot \alpha + S_{расст} \cdot \rho) \quad (13)$$

где  $C$  – продукция массы сухого вещества, т/га в год, зависящая от вида растительного сообщества и принимаемая по табл. 1.

Ожидаемую биопродуктивность  $P^r$  т/год, проектируемой в первом приближении определяют по формуле:

$$P^r = 100 C k_{биопрод} [\rho (S_{расст} - S_y^r - S_{cx}^r) + S \Delta S_{лес}] + 100 (C_y S_y^r + C_{cx} S_{cx}^r) \quad (14)$$

где  $C_y$ ,  $C_{cx}$  – продукция массы сухого вещества, соответствующая урбо- и агроценозам, т/га в год, принимаемая по таблице 2;  $k_{биопрод}$  – коэффициент снижения биопродуктивности растительности,  $k_{биопрод} = 1$ , при благоприятном состоянии природной среды; 0,98, при слабом загрязнении; 0,9 при загрязненном состоянии; 0,8 при сильном загрязнении.



Значение индекса репродукции  $I_p > 1$  указывает на сохранение оптимального воспроизводства биомассы. Такая ситуация способствует устойчивости развития урбосистем. Величина  $I_p < 1$  свидетельствует о нестабильности экологического состояния биогеоценоза БТС, поскольку условия воспроизводства будут нарушены активным антропогенным вмешательством, предусмотренным проектом. В связи с этим необходимо сокращать хозяйственную активность на территории.

## **Лабораторная работа № 2**

### **Оценка качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям**

**Цель работы:** освоить методы анализа качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Критерии оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
2. Критерии оценки качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям.
3. Принципы нормирования качества поверхностных вод. Категории водопользования.
4. Дать определение понятий ПДК, ПДКв, ПДКв.р.
5. Перечислите лимитирующие признаки вредности для различных категорий водопользования.
6. Определение ИЗВ (индекс загрязнения вод), шкала для оценки качества поверхностных вод по ИЗВ.

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе.

**Задание.** Провести анализ динамики загрязнения поверхностных вод на примере реки З. Двина и реки Березина (приток р. Днепр) по шести ингредиентам, обнаруживаемым в воде, на участках в 2016-2020 годах (исходные данные см. таблицы 1 - 3). Построить график, отражающий динамику загрязнения по каждому из веществ, с учетом ПДК. Рассчитать индекс загрязнения воды, построить график динамики ИЗВ. Дать сравнительную характеристику качества воды на исследуемых участках по показателям ИЗВ, используя таблицу 4. Полученные результаты оформить в виде выводов.

Таблица 1 – База данных по шести ингредиентам, обнаруживаемым в воде реки Березина, г. Светлогорск, 2,7 км ниже города (Точка 1)

Года	Растворенный O <sub>2</sub> мг/дм <sup>3</sup>	Органич. вещество (БПК <sub>5</sub> ) мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Азот аммонийный мг N/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный мг N/дм <sup>3</sup>	Фосфаты мг P/дм <sup>3</sup>	Нефтепродукты мг/дм <sup>3</sup>
2016	8,6	2,8	0,47	0,025	0,12	0,021
2017	7,2	2,667	0,012	0,021	0,095	0,017
2018	7,9	2,8	0,31	0,017	0,103	0,017
2019	9,7	2,3	0,31	0,024	0,106	0,014
2020	9,8	2,7	0,22	0,023	0,093	0,014

Таблица 2 – База данных по шести ингредиентам, обнаруживаемым в воде реки Западная Двина, г. Витебск 2,0 км ниже города (Точка 2)

Года	Растворенный O <sub>2</sub> мг/дм <sup>3</sup>	Органич. вещество (БПК <sub>5</sub> ) мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Азот аммонийный мг N/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный мг N/дм <sup>3</sup>	Фосфаты мг P/дм <sup>3</sup>	Нефтепродукты мг/дм <sup>3</sup>
2016	9,0	2,2	0,23	0,009	0,10	0,008
2017	9	2,2	0,23	0,009	0,1	0,008
2018	8,9	2,4	0,19	0,01	0,06	0,008
2019	8,7	2,2	0,18	0,013	0,06	0,008
2020	8,8	2,2	0,18	0,014	0,06	0,012

Таблица 3 – База данных по шести ингредиентам, обнаруживаемым в воде реки Западная Двина, г. Полоцк 1,5 км ниже города (Точка 3)

Года	Растворенный O <sub>2</sub> мг/дм <sup>3</sup>	Органич. вещество (БПК <sub>5</sub> ) мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Азот аммонийный мг N/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный мг N/дм <sup>3</sup>	Фосфаты мг P/дм <sup>3</sup>	Нефтепродукты мг/дм <sup>3</sup>
2016	8,9	2,2	0,21	0,008	0,06	0,02
2017	8,9	2,2	0,21	0,008	0,06	0,02
2018	9,1	2,2	0,18	0,009	0,015	0,009
2019	8,6	2,1	0,17	0,012	0,055	0,009
2020	9,2	2	0,18	0,014	0,056	0,011
ПДК	6	3,00	0,39	0,02	0,066	0,05

$$ИЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (1)$$

где,  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация по  $i$ -му показателю,  $C_i$  – концентрация  $i$ -го показателя.

В основе определения ИЗВ лежат среднегодовые концентрации шести ингредиентов, два из которых обязательны (растворенный кислород и БПК<sub>5</sub>), а остальные четыре выбираются по приоритетности, исходя из превышения их содержания в воде ПДК.

Таблица 4 – Классификация качества поверхностных вод по показателям ИЗВ

Класс качества воды	Величина ИЗВ	Характеристика качества
I	менее или равно 0,3	чистая
II	более 0,3-1,0	относительно чистая
III	более 1,0-2,5	умеренно загрязненная
IV	более 2,5-4,0	загрязненная
V	более 4,0-6,0	грязная
VI	более 6,0-10,0	очень грязная
VII	более 10,0	чрезвычайно грязная

### Лабораторная работа № 3

#### Биологическая очистка сточных вод: оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям

**Цель работы:** ознакомиться с методами оценки качества сточных вод по гидробиологическим показателям, изучить представителей сообщества активного ила.

#### Контрольные вопросы:

1. Что такое активный ил? Охарактеризуйте его трофическую структуру.
2. Дайте характеристику полного биологического окисления, происходящего в аэротенках.
3. Каковы условия работы аэротенков и содержания активного ила.
4. Возраст активного ила, как показатель эффективной очистки сточных вод.
5. Регенерация активного ила и ее значение.
6. Каковы причины и последствия вспухания активного ила.
7. Сообщество организмов активного ила: основные представители, выполняемые функции.
8. Перечислите модификации активного ила в зависимости от нагрузки на водоочистные сооружения и дайте им характеристику.
9. Перечислите показатели, характеризующие физиологическое состояние организмов активного ила.

**Материал и оборудование:** проба суспензии активного ила из аэротенка промышленного предприятия или городских очистных сооружений, микроскоп, камера Горяева, стеклянные цилиндры емкостью 100 мл, стеклянные цилиндры диаметром 20-25 мм, предметные и покровные стекла, стеклянные палочки, пипетки или стеклянные трубки, фильтровальная и индикаторная бумага, спиртовка, спички.

**Задание.** Согласно алгоритму произвести гидробиологический анализ активного ила. Полученные данные по анализу визуального обследования активного ила оформить в таблицу 1. Полученные данные по количественному анализу активного ила оформить в таблицу 2. Зарисовать общий вид хлопков активного ила. Указать характер хлопков: плотные, не плотные, рыхлые не рыхлые, степень прозрачности, наличие нитчатых структур. Зарисовать обнаруженные организмы активного ила. Дать индикаторную характеристику сообщества активного ила, полученные результаты оформить в таблицу 3.

Таблица 1 – Анализ визуального обследования активного ила

Исследуемый параметр	Характеристика исследуемого параметра	Примечание

Таблица 2 – Анализ количественного обследования активного ила

Метод обследование	Количественные показатели активного ила
Метод определения относительной численности организмов по пятибалльной шкале	
Метод определения абсолютной численности организмов в иловой смеси	

Таблица 3 – Сообщество организмов активного ила

Таксономическая единица (отряд, род)	Частота встречаемости по десятибалльной системе	Индикаторная характеристика

Алгоритм гидробиологического анализа активного ила:

**I Оценка общего характера ила:** определяют визуально при просмотре в стакане или стеклянном цилиндре (объем 100 мл). Учитываются следующие показатели:

а) **Скорость оседания хлопка** (оседает быстро или медленно; общей массой или разделением хлопка; отмечается, нет ли вспухания). Динамику оседания активного ила определяют после тщательного перемешивания иловой смеси в самой пробе, затем помещают ее в четыре стеклянных градуированных цилиндра емкостью 100 мл, наливая до верхней метки, еще раз перемешивают стеклянной палочкой и через каждые 15 минут отмечают объем, занимаемый осевшим илом. Результаты определения выражают в виде отношения (в процентах) объема, занимаемого выпавшим илом, к объему взятой для определения иловой смеси. Эту величину находят для каждого времени отстаивания. Полученные результаты представляют в виде кривых, откладывая по оси абсцисс время от начала опыта, в течение которого происходило отстаивание, а по оси ординат - полученное процентное отношение.

б) **Цвет** (нормальный цвет ила – буро-коричневый; зеленый цвет (указывает на развитие сине-зеленых водорослей при поступлении токсич-

ных веществ); белесый цвет -характерен для голодающего ила и т. д.). Окраску суспензии активного ила определяют качественно, причем записывают окраску и степень ее интенсивности. Для качественного определения окраски пробу суспензии наливают в цилиндр из бесцветного стекла, цилиндр ставят на белую бумагу, ставят экран из белой бумаги за цилиндром и обозначают окраску: сероватая, бурая, с темным оттенком, черная.

в) *Характер воды над осевшим илом* (прозрачная, мутная, окрашенная).

г) *Запах ила* (болотный – нормальный запах активного ила; при определенных веществах запах ила может быть – нефтяным, фенольным, сероводородным, керосиновым, фекальным). Запах определяют качественно при открывании пробы: если запах не ясен, то следует отлить небольшое количество воды и подогреть ее до температуры 65°C.

Перечисленные пункты являются основными. В зависимости от характера загрязнений следует включать в описание и другие показатели, например, следы нефти, пена от синтетических моющих средств и пр.

#### **II Количественный учет населяющих активный ил организмов, определение видового состава.**

Приготовить временный препарат активного ила. На предметное стекло капают каплю суспензии активного ила, покрывают покровным стеклом 24x24 мм. Проводя препарат зигзагообразно просматривают 2-3 капли, в каждой по 40 полей зрения, подсчитывают все встречающиеся организмы.

*Относительная численность организмов* определяется по пятибалльной шкале (Таблица 4).

Таблица 4 – Бальная шкала для определения относительной численности организмов

Частота встречаемости	Частота встречаемости (баллы)
Единично	1
Мало	2
Порядочно	3
Много	4
Масса	5

*Абсолютная численность организмов* в единице иловой смеси подсчитывается в счетной камере Горяева. Берут произвольное количество иловой смеси и заполняют камеру. Просматривают все квадраты по диагонали или камеру целиком, если микроорганизмов немного. Каждую пробу активного ила подсчитывают 3 раза и вычисляют среднее арифметическое. Численность каждого вида подсчитывают по формуле:

$$N=1000*n/S*H \quad (1)$$

где  $N$  - численность организмов определенного вида, экз/см<sup>3</sup>;

$n$  - численность организмов, найденных в секторе сетки камеры, экз;

$S$  – площадь сектора сетки, мм (обычно - 9мм<sup>2</sup>);

$H$  – глубина счетной камеры, мм (обычно - 0,1 мм);

1000 – коэффициент пересчета мм<sup>3</sup> в см<sup>3</sup>

Численность подсчитанных в 1 см<sup>3</sup> организмов необходимо пересчитать на грамм сухого вещества активного ила.

При анализе сообщества активного ила относительная численность организмов отдельных видов (таксономических групп) определяется по девятибалльной шкале (таблица 5).

Таблица 5 – Девятибалльная шкала определения относительной численности отдельных таксономических групп организмов

Частота встречаемости	Количество экз. одного вида	Частота встречаемости (баллы)
Очень редко	1	1
Редко	1-3	2
Нередко	4-10	3
Часто	10-20	5
Очень часто	20-40	7
Масса	40-100	9

**Выводы.** Вывод должен содержать обобщенную информацию о визуальном анализе активного ила; описание количественного и видового состава. *Пример описания активного ила.* Хлопки активного ила неплотные, рыхлые, прозрачные, содержат нитчатые структуры, покрытые скоплениями бактерий. Хлопок оседает быстро, без разделения; вспухание ила не отмечается. В области вокруг хлопков в большом количестве встречаются инфузории рода *Trachelophyllum* (7 баллов), достаточно много мелких жгутиконосцев (5 баллов). На хлопках единично располагаются раковинные амёбы рода *Centropuxis* (2 балла), скопления микроводорослей.

#### Лабораторная работа № 4

#### Экологический анализ загрязненности городских почв в Республике Беларусь

**Цель работы:** оценить степень загрязнения городских почв по коэффициенту концентрации и интегральному показателю поэлементного загрязнения почвы, выявить основные загрязняющие вещества в почвах городов Беларуси.

#### Контрольные вопросы:

1. Принципы нормирования геохимического загрязнения почв.
2. Критерии оценки степени загрязнения городских почв.
3. Лимитирующие показатели вредности (органолептический, общесанитарный, водно-миграционный, воздушно-миграционный, санитарно токсикологический, фитоаккумуляционный).

4. Дайте определение понятиям: ПДКп, фоновое содержание веществ в почве.

5. Комплексные гигиенические показатели санитарного состояния почвы.

6. Основные загрязняющие вещества городских почв на территории Беларуси (по результатам лабораторной работы).

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе.

**Задание.** На основании Таблиц 2 – 3 проанализировать степень загрязнения почв в городах Беларуси: сравнить среднее значение содержания химических веществ в почве с показателями фоновых значений ( $C_{\phi i}$ ), ПДК (ОДК). Выделить вещества, которые в большей и меньшей степени содержатся в городских почвах на территории Беларуси.

Рассчитать параметры загрязнения городских почв: коэффициент концентрации загрязнения почвы  $K_{ci}$ ; полиэлементный показатель загрязнения почвы  $Z_c$ . Отобразить полученные данные на графике (ось абсцисс – исследуемые города, ось ординат – величина  $K_{ci}$ ). Оценить категорию загрязнения почв по данным таблицы 1.

$$K_{ci} = \frac{C_i}{C_{\phi i}} \text{ или } K_{ci} = \frac{C_i}{ПДК_{ci}} \quad (1)$$

где  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества в почве;  $C_{\phi i}$  – среднее фоновое содержание загрязняющих веществ, мг/кг почвы;  $ПДК_{ci}$  – содержание предельно допустимых количеств загрязняющих веществ.

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1) \quad (2)$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации элемента;  $n$  – число элементов с  $K_{ci} > 1$ .

Таблица 1- Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ )

Категория загрязнения почв	Величина ( $Z_c$ )	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Таблица 2 – Содержание химических веществ в почвах городов Беларуси в 2019 г., мг/кг

Город	рН	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Нефте- продукты	Тяжелые металлы (общее содержание), мг/кг						
					Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	Hg
Кобрин	<u>6,92-7,95*</u> 7,28	<u>55,2-193,1</u> 105,0	<u>&lt;п.о.-18,6</u> 5,5	<u>21,8-182,7</u> 100,7	<u>0,05-0,23</u> 0,12	<u>5,1-45,1</u> 14,9	<u>0,9-21,2</u> 7,6	<u>1,4-10,9</u> 6,0	<u>0,3-7,6</u> 4,5	<u>0,2-6,0</u> 2,9	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,1</u>
Лунинец	<u>5,97-7,80</u> 7,23	<u>27,4-270,4</u> 95,1	<u>&lt;п.о.-43,6</u> 6,1	<u>17,0-87,4</u> 41,2	<u>0,05-0,34</u> 0,09	<u>3,3-31,5</u> 21,3	<u>0,9-30,9</u> 12,4	<u>1,2-25,9</u> 7,1	<u>1,0-7,6</u> 3,5	<u>1,6-4,2</u> 2,6	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,1</u>
Минск	<u>6,00-8,00</u> 7,23	<u>27,4-159,0</u> 80,5	<u>&lt;п.о.-64,6</u> 18,0	<u>9,2-470,0</u> 86,0	<u>0,09-0,39</u> 0,20	<u>9,0-141,3</u> 56,4	<u>4,4-109,3</u> 18,3	<u>4,0-47,4</u> 16,4	<u>3,8-15,3</u> 5,8	<u>1,2-5,0</u> 2,7	<u>&lt;п.о.-</u> <u>2,93</u>
Волковыск	<u>6,99-7,80</u> 7,30	<u>27,4-126,8</u> 59,1	<u>&lt;п.о.-44,7</u> 11,0	<u>14,5-90,5</u> 29,8	<u>0,08-0,21</u> 0,14	<u>19,5-60,0</u> 35,5	<u>3,6-39,0</u> 14,9	<u>39-14,0</u> 7,5	<u>3,0-11,0</u> 5,0	<u>1,9-4,0</u> 2,7	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,3</u>
п.г.т.Красносельский	<u>6,89-7,62</u> 7,16	<u>16,3-60,5</u> 37,4	<u>&lt;п.о.-18,2</u> 7,4	<u>65,5-116,4</u> 95,4	<u>0,05-0,27</u> 0,15	<u>9,5-31,5</u> 22,1	<u>2,5-29,4</u> 11,9	<u>3,0-19,8</u> 9,0	<u>2,3-6,0</u> 4,2	<u>1,2-3,9</u> 2,4	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,1</u>
Жлобин	<u>6,05-8,00</u> 7,06	<u>22,1-165,7</u> 59,3	<u>&lt;п.о.-45,7</u> 9,9	<u>14,3-91,0</u> 39,2	<u>0,06-0,31</u> 0,14	<u>18,7-32,9</u> 26,7	<u>1,5-45,4</u> 8,1	<u>1,7-9,2</u> 3,6	<u>1,9-13,2</u> 4,4	<u>1,4-6,1</u> 3,3	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,2</u>
Бобруйск	<u>5,85-8,56</u> 7,44	<u>13,4-269,1</u> 52,7	<u>&lt;п.о.-20,0</u> 3,2	<u>19,2-350,6</u> 101,5	<u>0,26-1,21</u> 0,37	<u>13,1-116,8</u> 38,8	<u>3,6-111,5</u> 23,4	<u>1,8-26,2</u> 6,7	<u>2,1-14,1</u> 4,0	<u>3,0-31,3</u> 8,8	<u>&lt;п.о.-</u> <u>0,4</u>
Новолукомль	<u>7,19-8,42</u> 7,91	<u>22,1-137,9</u> 59,4	<u>&lt;п.о.-8,1</u> 4,0	<u>94,6-121,5</u> 108,1	<u>0,09-0,19</u> 0,13	<u>13,9-120,0</u> 40,4	<u>6,0-13,1</u> 8,1	<u>4,0-8,0</u> 5,9	<u>3,9-9,6</u> 6,1	<u>2,6-3,4</u> 3,0	<п.о.
Фоновые значения**		40,5	7,1	32,2	0,14	9,4	4,6	3,2	2,9	1,8	0,06
ПДК(ОДК)		160,0	130,0	100,0	0,05	55,5	32,0	66,0	40,0	100	2,1

\* В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение, \*\* Фоновые значения получены на фоновых территориях.



Таблица 3 – Содержание химических веществ в почвах городов Беларуси в 2020 г., мг/кг

Город	рН	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Нефте- продукты	Тяжелые металлы (общее содержание), мг/кг						
					Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	Hg
Могилев	<u>6,65-8,03</u> * 7,39	<u>11,1-173,9</u>	<u>&lt;п.о.-15,5</u> 3,4	<u>1,1-343,3</u> 84,6	<u>0,02-0,78</u> 0,12	<u>3,7-54,8</u> 42,9	<u>0,7-79,9</u> 19,3	<u>0,2-30,8</u> 9,6	<u>0,9-14,4</u> 3,9	<u>0,2-47,3</u> 9,8	<u>&lt;п.о.-0,73</u>
Речица	<u>6,54-7,61</u> 7,16	<u>10,6-76,4</u> 45,0	<u>&lt;п.о.-19,1</u> 4,8	<u>11,1-87,5</u> 52,4	<u>0,06-0,18</u> 0,11	<u>12,5-37,7</u> 22,1	<u>2,4-57,7</u> 10,0	<u>2,2-17,9</u> 5,0	<u>2,2-7,9</u> 4,3	<u>1,5-4,2</u> 2,7	<u>&lt;п.о.-0,2</u> 0,001
Полоцк	<u>5,91-7,48</u> 6,85	<u>10,6-163,3</u>	<u>&lt;п.о.-38,0</u> 7,6	<u>2,8-440,0</u> 78,0	<u>0,05-0,51</u> 0,12	<u>1,2-31,0</u> 16,1	<u>1,6-63,6</u> 12,7	<u>2,1-30,0</u> 5,9	<u>2,0-10,2</u> 4,1	<u>1,7-11,2</u> 3,4	<u>&lt;п.о.-0,1</u> 0,001
Слуцк	<u>5,78-7,28</u> 6,90	<u>22,0-172,9</u>	<u>5,9-52,5</u> 18,5	<u>28,8-118,7</u> 60,7	<u>0,02-0,70</u> 0,14	<u>9,5-114,0</u> 52,2	<u>2,5-22,5</u> 10,8	<u>3,5-18,0</u> 9,3	<u>3,3-7,4</u> 5,7	<u>4,9-19,3</u> 9,6	-
Жодино	<u>6,18-7,55</u> 7,12	<u>37,0-150,8</u>	<u>&lt;п.о.-15,1</u> 4,5	<u>33,0-141,3</u> 62,7	<u>0,03-0,15</u> 0,07	<u>11,6-50,8</u> 32,5	<u>3,6-15,8</u> 7,4	<u>3,5-77,2</u> 13,2	<u>2,3-10,7</u> 3,6	<u>0,9-2,8</u> 1,8	-
Рогачев	<u>6,34-7,81</u> 6,98	<u>4,9-62,4</u> 34,1	<u>3,5-55,0</u> 19,8	<u>12,5-222,5</u> 44,9	<u>0,05-0,37</u> 0,11	<u>16,2-50,8</u> 37,0	<u>3,4-24,6</u> 11,2	<u>1,6-10,9</u> 4,5	<u>0,8-3,6</u> 2,2	<u>1,0-2,8</u> 1,9	-
Фоновые значения**		45,0	6,3	6,5	0,07	19,0	2,8	3,8	1,1	5,0	<п.о.
ПДК(ОДК)		160,0	130,0	100,0	0,05	55,5	32,0	66,0	40,0	100	2,1

\* В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение, \*\* Фоновые значения получены на фоновых территориях.

## МОДУЛЬ 2

### Лабораторная работа № 5

#### Экологический анализ атмосферного воздуха городов Беларуси

**Цель работы:** произвести анализ и оценку динамики загрязнения атмосферного воздуха областных центров Беларуси. Освоить методику расчетов индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

#### Контрольные вопросы:

1. Перечислить основные примеси, определяемые в городах Беларуси.
2. Понятие приоритетного специфического вещества. Приоритетные специфические вещества в атмосфере городов Беларуси, основные факторы при выборе приоритетного перечня специфических примесей.
3. Дайте определение ПДК, ПДКс.с., ПДКм.р.
4. Определение ИЗА, шкала для оценки среднегодового уровня загрязнения.
5. Критерии оценки качества атмосферного воздуха в городах.

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе.

**Задание.** Проанализировать динамику загрязнения атмосферы городов Беларуси основными и специфическими вредными веществами по табл. 1–8. На основе полученных данных выделить города, для которых характерны максимальные и минимальные средние за год концентрации загрязняющих веществ. Сделать вывод о динамике загрязняющих веществ в областных центрах республики: отметить вещества, по которым наблюдалось существенное уменьшение загрязненности; рост средних концентраций; динамика уровня загрязнения не устойчива.

Рассчитать ИЗА для основных и специфических вредных веществ в г. Витебске (табл. 1–8).

Проанализировать годовую динамику комплексного показателя ИЗА в областных центрах Беларуси. Построить график, отражающий динамику ИЗА за последние 8 лет. Сделать вывод о различиях ИЗА в областных центрах Республики Беларусь в 2020г.

Расчет ИЗА для одного вещества производят по формуле:

$$I_i = \frac{q_{cp.i}}{ПДК_{с.с.i}} K_i, \quad (1)$$

где  $q_{cp.i}$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го вещества,  $ПДК_{с.с.i}$  – его средне-суточная предельно допустимая концентрация,  $K_i$  – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха  $i$ -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы.

Значения  $K_i$  равны соответственно 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 соответственно для 4,3,2 и 1 классов опасности вещества.

Для оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха в исследуемых городах рассчитать комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы.

$$ИЗА = \sum (q_{ср.i} / ПДК_{с.с.i}) K_i \quad (2)$$

где  $q_{ср.i}$  - среднегодовая концентрация  $i$ -го вещества, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_{с.с.i}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

В соответствии с существующими методами оценки среднегодового уровня, загрязнение считается низким, если  $ИЗА < 5$ , повышенным при  $5 < ИЗА < 7$ , высоким при  $7 < ИЗА < 14$ .

Таблица 1 - Динамика уровня загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами в областных центрах Беларуси

Город	Средние за год концентрации суммарных твердых частиц, мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	32	26	28	23	28	28	27	18
Витебск	36	84	110	97	109	117	116	115
Гомель	33	45	29	61	51	63	52	45
Гродно	81	40	33	53	57	51	37	40
Минск	13	11	–	–	–	15	<15	<15
Могилев	28	42	55	43	46	42	37	47

Таблица 2 - Динамика уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы в областных центрах Беларуси

Город	Средние за год концентрации диоксида серы, мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	1,1	1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,4	0,4	0,1
Витебск	<1,0	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	<п/о	<п/о	<0,1
Гомель	3,3	5,0	<1,0	7,3	8,3	4,6	7,5	1,7
Гродно	<1,0	<1,0	6,1	<1,0	<1,0	0,2	0,2	0,4
Минск	<1,0	<1,0	1,0	<1,0	<п/о	0,1	0,1	<0,1
Могилев	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,3	0,1	<0,1

Таблица 3 – Динамика уровня загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода в областных центрах Беларуси

Город	Средние за год концентрации оксида углерода, мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	687	708	1207	800	593	544	511	613
Витебск	710	793	795	1042	658	523	757	675
Гомель	422	441	1003	436	439	451	496	444
Гродно	1596	1608	427	1672	771	611	583	665
Минск	766	680	1513	586	472	439	414	386
Могилев	930	1098	677	972	1188	943	879	875

Таблица 4 – Динамика уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в областных центрах Беларуси

Город	Средние за год концентрации диоксида азота, мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	27	27	31	29	26	23	24	26
Витебск	28	39	40	40	45	41	32	36
Гомель	27	21	23	20	19	21	17	20
Гродно	32	35	33	33	31	24	30	28
Минск	40	40	39	33	31	34	34	32
Могилев	45	49	50	57	57	53	52	55

Таблица 5 – Среднегодовые концентрации фенола в атмосферном воздухе областных центров Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации фенола в мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	–	–	2,1	–	–	–	–	–
Витебск	1,9	2,8	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,1
Гомель	2,4	1,8	–	1,5	1,4	1,3	1,1	2,5
Гродно	–	–	0,6	–	–	–	–	–
Минск	0,2	0,3	2,6	0,4	0,5	0,5	0,5	3,0
Могилев	2,1	2,5	2,1	2,7	1,5	1,7	1,7	33,0

Таблица 6 – Среднегодовые концентрации аммиака в атмосферном воздухе областных центров Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации аммиака в мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	–	–	–	–	–	–	–	–
Витебск	33	19	19	20	21	17	23	25
Гомель	26	20	23	18	16	20	24	36
Гродно	14	14	17	27	12	12	14	17
Минск	37	35	35	36	39	35	25	13
Могилев	30	38	33	48	27	18	27	24

Таблица 7 – Среднегодовые концентрации формальдегида в атмосферном воздухе областных центров Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации формальдегида в мкг/м <sup>3</sup>							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	9,3	9,5	10,7	12,4	11,2	9,9	11,5	11,9
Витебск	8,4	14,7	13,4	13,5	11,0	10,9	13,2	10,5
Гомель	12,8	11,8	14,8	11,1	7,1	7,6	8,0	10,7
Гродно	6,9	7,8	4,5	5,7	5,2	5,5	5,5	4,8
Минск	6,9	4,3	9,9	7,8	7,1	5,9	7,1	4,9
Могилев	9,3	3,5	4,4	7,6	5,6	6,4	8,2	7,9

Таблица 8 – Среднегодовые концентрации свинца в атмосферном воздухе областных центров Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации свинцом в мкг/м <sup>3</sup>								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Брест	0,068	0,10	0,084	0,056	0,054	0,069	0,055	0,040	0,030
Витебск	0,075	0,08	0,066	0,073	0,064	0,078	0,102	0,045	0,027
Гомель	0,065	0,09	0,041	0,174	0,070	0,124	0,119	0,074	0,047
Гродно	0,059	0,12	0,067	0,119	0,066	0,087	0,118	0,048	0,016
Минск	0,099	0,08	0,063	0,065	0,050	0,077	0,042	0,040	0,020
Могилев	0,015	0,07	0,037	0,031	0,034	0,039	0,016	0,022	0,009

Таблица 9 – Значения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Азота двуокись	0,085
Азота окись	0,400
Аммиак	0,200
Пыль нетоксичная	0,150
Сажа (копоть)	0,050
Свинец и его соединения	0,001
Сернистый ангидрид	0,050
Сероводород	0,008
Сероуглерод	0,005
Углерода окись	1,000
Фенол	0,010
Формальдегид	0,012

## Лабораторная работа № 6

### Оценка шумового режима автотранспорта по эквивалентному уровню звука $L_{A \text{ экв}}$ расчетным и графоаналитическим методами в условиях городской среды

**Цель работы:** овладеть навыками определения уровня шума от потока автотранспорта расчетным и графоаналитическим методами.

#### Контрольные вопросы:

1. Факторы, влияющие на интенсивность уличных шумов.
2. Каковы основные проблемы и пути снижения шума в городах?
3. Методы оценки уровня шума (инструментальные и расчетные).
4. Влияние городских шумов на здоровье населения.

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе, номограмма.

**Задание. 1.** Рассчитать эквивалентный уровень звука  $L_{A \text{ экв}}$  в различное время суток по формуле и номограмме, сравнить полученные данные. Сравнить уровень шума с нормами. Исходные данные для расчетов представлены в таблицах 1–2.

1. Сделать вывод о зависимости шума от скорости и интенсивности автомобильного потока. Для этого рассчитать уровень шума по номограмме. Эта работа выполняется по вариантам. 1 вариант – скорость потока автотранспорта 30 км/ч; 2 вариант – скорость потока автотранспорта 60 км/ч; 3 вариант – скорость потока автотранспорта 100 км/ч.

#### Расчетный метод.

Шумовой характеристикой потоков автомобильного транспорта (включая грузовые автомобили, автобусы и троллейбусы) является эквивалентный уровень звука  $L_{A \text{ экв}}$ , дБА на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспортных средств, рассчитываемый по формуле:

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg Q + 13,3 \lg v + 4 \lg (1+p) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15, \quad (1)$$

где:  $Q$  - интенсивность движения автотранспорта, ед/час;  $v$  - средняя скорость потока, км/час;  $p$  - доля средств грузового и общественного транспорта в потоке,  $\Delta L_{A1}$  - поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части улицы или дороги, дБА (при асфальтобетонном покрытии  $\Delta L_{A1} = 0$ , при цементобетонном покрытии  $\Delta L_{A1} = +3$  дБА);  $\Delta L_{A2}$  - поправка, учитывающая продольный уклон улицы или дороги, дБА (при продольном уклоне 2–4% и доле грузового и общественного транспорта до 20%  $\Delta L_{A2}$  составляет от 0,5 до 2,5 дБА).

#### Графоаналитический метод

С помощью данного метода эквивалентные уровни звука в точке, расположенной в 7,5 м от ближайшей полосы движения, определяют по номограмме (Рис.1). Здесь величина  $L_{A \text{ экв}}$  поставлена в зависимость от сочетания парных значений. Вначале скорости движения  $v$ , км/ч и процента содержания в потоке грузового и общественного транспорта  $p$  (см. шкалы

в левой части рисунка). Потом от плотности потока  $N$ , авт/ч, и его скорости  $v$  (правая часть рисунка).

Таблица 1 – Загруженность автотранспортом улицы Ленина

Время	Тип автомобиля	Число единиц
8.00	Легковой	1092
	Легкий грузовой	192
	Средний грузовой	36
	Тяжелый грузовой	6
	Автобус	72
13.00	Легковой	1224
	Легкий грузовой	138
	Средний грузовой	72
	Тяжелый грузовой	6
	Автобус	72
18.00	Легковой	1122
	Легкий грузовой	153
	Средний грузовой	54
	Тяжелый грузовой	3
	автобус	57
00.00	Легковой	123
	Легкий грузовой	24
	Средний грузовой	12
	Тяжелый грузовой	-
	Автобус	36

Таблица 2 – Загруженность автотранспортом Московского проспекта

Время	Тип автомобиля	Число единиц
8.00	Легковой	774
	Легкий грузовой	168
	Средний грузовой	132
	Тяжелый грузовой	18
	Автобус	60
13.00	Легковой	942
	Легкий грузовой	144
	Средний грузовой	60
	Тяжелый грузовой	42
	Автобус	48
18.00	Легковой	903
	Легкий грузовой	141
	Средний грузовой	84
	Тяжелый грузовой	42
	Автобус	36
00.00	Легковой	87
	Легкий грузовой	21
	Средний грузовой	6
	Тяжелый грузовой	30
	Автобус	12

## Лабораторная работа № 7

### Определение зон рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере

**Цель работы:** освоить методику определения параметров загрязнения воздушного бассейна от одиночных точечных источников.

#### Контрольные вопросы:

1. Для чего определяются  $X_{max}$  и  $C_{max}$ . Понятие санитарной зоны?
2. Как влияют высота и диаметр трубы на  $X_{max}$  и  $C_{max}$ ?
3. Как влияют температурный градиент и начальная скорость газа на площадь рассеивания?
4. Что такое опасная скорость ветра ( $V_{max}$ )?
5. От чего зависит  $F$ ?
6. Что такое стратификация?
7. Перечислите микроклиматические условия, оказывающие влияние на рассеивание загрязняющего вещества в атмосфере.
8. Перечислите микроклиматические условия, способствующие концентрации загрязняющих веществ в атмосфере.

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблицы с исходными данными к работе, номограмма.

**Задание.** Определить параметры загрязнения воздушного бассейна от одиночных точечных источников. Исходными данными для расчета являются соответствующие Вашему варианту параметры выброса (см. табл. 3).

*Максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ,  $C_{max}$ , [мг/м<sup>3</sup>] в атмосфере от одиночного точечного источника выброса круглого сечения, выбрасывающего нагретую пылегазовоздушную смесь, рассчитывается по формуле:*

$$C_{max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (1)$$

где  $A$  - коэффициент зависящий от температуры стратификации атмосферы. Для условий Республики Беларусь  $A = 140$ .

$H$  - высота источника выброса от земли, [м];

$M$  - интенсивность выброса загрязняющего вещества, [г/с];

$F$  - коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосфере и зависящий от состояния загрязняющих веществ и эффективности пылеулавливания (см. табл.1). Быстрее оседают крупные частицы пыли, большей плотности ( $\rho_n$ , г/см<sup>3</sup>) при малой начальной скорости ( $W_0$ ), т.к. меньше кинетическая составляющая



Таблица 1 - Значение коэффициентов  $F$

Вещество	Эффективность пылеулавливания, [%]	$F$
Газообразные выбросы	–	1
Твердые частицы	> 90	2
	75 - 90	2,5
	< 75	3

$V_1$  - расход (объем выбрасываемой пылегазовоздушной смеси в ед. времени), [м<sup>3</sup>/с]

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \omega_0 \quad (2)$$

где  $\omega_0$  – скорость выхода, м/с;

$D$  – диаметр трубы, м.

$$\Delta T = T_T - T_B, \quad (3)$$

где  $T_T$  - температура газозвушной смеси, [<sup>0</sup>С]

$T_B$  - температура атмосферного воздуха принимаемая для района расположения предприятия и 13 часов самого жаркого месяца года по СНИП 2.01.01.82 строительная климатология и геофизика (Госстрой СССР; Стройиздат, 1989 год)

$\eta$  - коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических нарушений. Для одиночного источника при отсутствии рядом стоящих препятствий (высоких зданий, сооружений)  $\eta = 1$ .

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (4)$$

вводится коэффициент  $f$  показывающий изменение скорости на единицу температурного градиента и зависящий от параметров источника выброса (трубы).

Коэффициенты  $m$  и  $n$  учитывают условия выброса пылевоздушной смеси.  $m$  и  $n$  зависят от параметров соответственно:

$$\text{при } f < 100 \quad m = (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})^{-1}$$

$m$  - безразмерный коэффициент, определяющийся по приведенной формуле или графику.

$$\text{при } V_m \geq 2 \quad n = 1$$

$$1,5 \leq V_m < 2 \quad n = 0,532 \cdot V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13$$

$$V_m < 0,5 \quad n = 4,4 \cdot V_m$$

$n$  – безразмерный коэффициент, зависящий от опасной скорости,  $V_m$  м/с. Опасная скорость – скорость ветра, при которой предельные концентрации имеют наибольшее значение.

Параметр, характеризующий влияние начальной скорости температурного градиента и высоты трубы.

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad (5)$$

где  $w_0$ , [м/с] - скорость выхода газозадушной смеси из источника выброса (трубы);

$D$ , [м] - диаметр источника выброса.

Расстояние от источника выброса до точки с максимальной приземной концентрацией рассчитывается по формуле (6):

$$X_{\max} = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H \quad (6)$$

где  $H$ , [м] - высота источника выброса.

Вводится параметр  $d$  определяемый следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{при } V_m \leq 0,5 & \quad d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \\ 0,5 < V_m \leq 2 & \quad d = 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \\ V_m > 2 & \quad d = 7 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \end{aligned}$$

Величина опасной скорости ветра,  $V_{\max}$ , [м/с], соответствующей полученным значениям  $C_{\max}$  и  $X_{\max}$ , также зависит от параметра  $V_m$ :

$$\begin{aligned} \text{при } V_m \leq 0,5 & \quad V_{\max} = 0,5 \\ 0,5 < V_m \leq 2 & \quad V_{\max} = V_m \\ V_m > 2 & \quad V_{\max} = \sqrt{V_m} \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \end{aligned}$$

Опасность загрязнения атмосферы оценивается показателем  $j$ :

$$j = \frac{C_{\max}}{nБЖ} < 1 \quad (7)$$

Результаты расчета записывают в табличной форме (см. табл. 2). Опасность загрязнения атмосферы газообразными веществами с учетом суммирования при одновременном присутствии в атмосфере  $SO_2$  и  $NO_x$ .

$$j_{SO_2+NO_x} = \frac{C_{\max,SO_2}}{nБЖ_{SO_2}} + \frac{C_{\max,NO_x}}{nБЖ_{NO_x}} < 1 \quad (8)$$

Таблица 2 - Вид записи результатов расчета

Вещество	$C_{\max}$ , [мг/м <sup>3</sup> ]	$X_{\max}$ , [м]	$V_{\max}$ , [м/с]	$j$
Зола				
$SO_2$				
$NO_x$				
Суммирование $SO_2 + NO_x$		—	—	

По итогам расчета делаются выводы об уровне загрязнения и предлагаются мероприятия по его снижению в случае необходимости.

Таблица 3 - Параметры выброса газообразной смеси

Варианты № пп	$H$ , [м]	$D$ , [м]	$w_0$ , [м/с]	$T_{Г}$ , [°С]	$T_{Б}$ , [°С]	$M_{SO_2}$ , [г/с]	$M_{зола}^*$ , [г/с]	$M_{NO_x}$ , [г/с]	ПДК, [мг/м <sup>3</sup> ]		
									$SO_2$	Зола	$NO_x$
1	10	1,4	8	125	25	12,0	15,5	4,2	0,5	0,5	0,085
2	25	1,0	12	100	20	10,0	14,5	3,8	-"	-"	-"
3	28	1,5	15	80	15	30,0	70,6	12,1			
4	18	0,7	16	90	10	25,0	15,0	1,0			
5	15	0,8	21	130	5	16,0	14,0	4,6			
6	23	0,9	16	230	15	21,0	34,0	3,2			
7	28	1,0	12	160	20	6,0	62,0	5,8			
8	32	1,5	9	125	25	15,0	18,9	7,8			
9	20	1,2	10	135	15	42,0	14,1	10,2			
10	24	1,5	14	215	25	19,0	27,2	11,4			
11	25	1,7	9	210	30	18,0	34,5	2,0			
12	30	2,0	6	180	20	5,0	56,7	2,2			
13	23	1,3	11	150	15	16,0	59,4	12,8			
14	19	1,0	14	165	10	7,0	62,1	14,4			
15	18	0,7	19	115	0	21,0	65,3	16,6			
16	35	2,0	9	210	40	32,0	50,0	7,4			
17	40	2,6	5	195	15	28,0	24,0	21,0			
18	38	2,6	8	145	25	14,0	32,0	16,6			
19	24	1,8	13	210	15	12,0	12,8	21,8			
20	19	0,8	18	160	5	10,0	5,6	15,4			

\* - при эффективности пылеулавливания > 90%.

### Лабораторная работа № 8 Анализ обращения с отходами в областных городах Республики Беларусь

**Цель работы:** проанализировать равномерность образования, удаления и утилизации отходов производства на примере областных городов Республики Беларусь.

#### Контрольные вопросы:

1. Как называется закон, регламентирующий обращение с отходами в Республике Беларусь?
2. Какие виды отходов доминируют в структуре твердых коммунальных отходов в Беларуси?
3. Перечислите методы утилизации отходов в Республике Беларусь.
4. В каких областях Беларуси наблюдается максимальное и минимальное образование отходов производства?

**Материал и оборудование:** статистические таблицы с данными по образованию, удалению и утилизации отходов производства.

**Задание 1.** Провести анализ динамики: образования, использования и захоронения отходов производства в областных центрах Беларуси с 2013 по 2017 гг. Данные отразить на графике (ось x – год, ось y – количество отходов, т).

Проанализировать равномерность образования и удаление отходов производства на территории Беларуси (по областным центрам республики в процентном отношении за 2017 год). Данные отразить в виде столбчатой диаграммы. По данным таблицы 1 выбрать две области Беларуси, для которых характерно максимальное образование отходов производства и объяснить причину лидирования данных областей по образованию и накоплению отходов производства. **Задание 2.** Определить долю отдельных видов ВМР в областных центрах Беларуси и по Республике в целом в 2017 году. Данные отразить в виде круговых диаграмм. **Задание 3.** Рассчитать и отобразить на круговой диаграмме процент образования, использования и удаления отходов 1-4 классов опасности в Республике Беларусь за 2017 год.

Таблица 1 – Образование, использование и удаление отходов на предприятиях Республики Беларусь в 2017 г. без учета крупнотоннажных отходов (в разрезе областей), тыс. т

Область	Образовано	Использовано, передано	Удалено
Брестская	1488	1343	196
Витебская	769	633	162
Гомельская	3114	1748	1435
Гродненская	2349	1816	619
г. Минск	3139	2473	705
Минская	40714	4304	36445
Могилевская	3933	3481	472
Республика Беларусь	55506	15798	40035

Таблица 2 – Образование, использование и удаление отходов на предприятиях Республики Беларусь в 2016 г. без учета крупнотоннажных отходов (в разрезе областей), тыс. т

Область	Образовано	Использовано, передано	Удалено
Брестская	1579	1450	223
Витебская	510	397	148
Гомельская	2867	1730	1322
Гродненская	2072	1425	694
г. Минск	2858	2068	887
Минская	36565	4016	32667
Могилевская	2996	2128	979
Республика Беларусь	49448	13213	36921

Таблица 3 – Образование, использование и удаление отходов на предприятиях Республики Беларусь в 2015 г. без учета крупнотоннажных отходов (в разрезе областей), тыс. т

Область	Образовано	Использовано, передано	Удалено	Наличие на предприятиях в конце года
Брестская	1244	1039	241	1579
Витебская	552	388	173	736
Гомельская	3097	2632	1306	7290
Гродненская	1786	1008	827	3129
Минская	2908	2670	272	2216
г. Минск	1980	1177	820	2550
Могилевская	4605	2557	2264	14245
Республика Беларусь	16172	11471	5903	31745

Таблица 4 – Образование, использование и удаление производственных отходов по областям Беларуси г. Минску в 2014 г. (без учета галитовых отходов глинисто-солевых шламов и фосфогипса), тыс.т

Область	Образовано	Использовано, передано	Удалено	Наличие на предприятиях в конце года
Брестская	1449	1244 631	248 224	596
Витебская	836	631	224	702
Гомельская	3058	5027	792	7616
Гродненская	1864	1131	824	2664
г. Минск	2072	9961	1091	2244
Минская	5331	5121	294	2220
Могилевская	4396	1848	2698	12315
Республика Беларусь	19006	15998	6170	28357

Таблица 5 – Образование, использование и удаление производственных отходов по областям Беларуси г. Минску в 2013 г. (без учета галитовых отходов и глинисто-солевых шламов), тыс. т

Область	Образовано	Использовано, передано	Удалено	Наличие на предприятиях в конце года
Брестская	1412	1221	209	527
Витебская	843	553	301	701
Гомельская	2994	7020	648	25052
Гродненская	2196	1404	856	2228
г. Минск	2397	1162	1240	1961
Минская	5202	4957	286	2200
Могилевская	3109	2828	497	4344
Республика Беларусь	18152	19145	4037	37013

Таблица 6 – Образование, использование и удаление отходов производства 1-4 классов опасности в 2017 г., тыс. т

Класс опасности	Образовано	Использовано, передано	Удалено
1 класс	59,9	41,5	19,9
2 класс	15,5	9,1	6,5
3 класс	1592,7	997,3	657,2
Всего 1-3 класс	1668,10	1047,90	683,60
4 класс	44904,20	6562,7	38433,8
Всего 1-4 класс	46572,30	7610,60	39117,40

Таблица 7 – Заготовка вторичных материальных ресурсов в 2017 г., тыс. т

Области	Заготовлено ВМР
Брестская	77,1
Витебская	69,08
Гомельская	101,44
Гродненская	74,72
г. Минск	181,27
Минская	70,39
Могилевская	79,87
Республика Беларусь	653,87

## МОДУЛЬ 3

### Лабораторная работа № 9

#### Инвентаризация и оценка состояния древесно-кустарниковой растительности в условиях городской среды

**Цель работы:** ознакомиться с методикой проведения инвентаризации и учета древесно-кустарниковой растительности в условиях городской среды.

#### Контрольные вопросы:

1. Какой документ регламентирует порядок учета объектов растительного мира, расположенных на улицах и придорожных участках населенных пунктов?

1. Перечислите необходимые документы при проведении учета объектов растительного мира?

2. Что такое насаждения общего, ограниченного и специального пользования?

3. Что такое индекс жизненного состояния древесной растительности? На основе каких показателей он рассчитывается?

4. Какие выделяют классы состояния для древесно-кустарниковой растительности?

**Материал и оборудование:** калькулятор, таблица с исходными данными к работе.

**Задание.** Ознакомится со структурой ведомости учета на примере улицы Коммунистической города Витебска (участок длиной 439,3 м), представленный в виде таблицы 1. На основании данных из таблицы определить процентное соотношение групп возраста для древесно-кустарниковой растительности и отобразить полученные данные в виде гистограммы. Таким же образом определить класс состояния для деревьев и отобразить в виде гистограммы. Посчитать индекс жизненного состояния древостоя по следующей формуле:

Интегральная оценка состояния древесных насаждений проводится с использованием индекса жизненного состояния древостоя по следующей формуле:

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4)/N,$$

где  $L_n$  – индекс жизненного состояния древостоя;

$n_1$  – количество здоровых деревьев;

$n_2$  – ослабленных;

$n_3$  – сильно ослабленных;

$n_4$  – отмирающих (умирающих), согласно классам;

$N$  – общее количество деревьев (включая сухостой).

При значении индекса состояния древостоев 100–90% они относятся к категории «здоровые», при 89–80% – «здоровые с признаками ослабления», 79–70% – «ослабленные», 69–50% – «поврежденные», 49–20% – «сильно поврежденные», менее 20% – «разрушенные».

Сделать вывод о состоянии древесно-кустарниковой растительности на исследуемом участке (улица Коммунистическая города Витебска).

*Класс эстетической* оценки зависит от декоративности дерева и оценивается по 5-ти бальной шкале:

1 – крайне неудовлетворительная;

2 – неудовлетворительная;

3 – удовлетворительная;

4 – хорошая;

5 – отличная.

Таблица 1 – Видовой состав и характеристика древесных насаждений на некоторых улицах г. Витебска

Вид объекта растительного мира	Ассортимент древесных и кустарниковых растений	Группы возраста	Структура насаждений	Состояние насаждений	Уровень благоустройства и состояния элементов благоустройства	Соответствие функциональному назначению
<b>Зеленая зона по ул. Кирова (лунки деревьев на асфальтированных площадях)</b>	Каштан обыкновенный	Вергинильная	Рядовая уличная посадка деревьев	Здоровые	Удовл.	Соответствует
	Ясень обыкновенный	Имоторная		Здоровые		
	Липа мелколистная	Вергинильная		Ослабленные		
	Липа крупнолистная	Вергинильная		Ослабленные		
	Яблоня Недзведского	Средневозрастная		Ослабленные		
	Груша обыкновенная	Средневозрастная		Здоровые		
	Клен ясенелистный	Средневозрастная		Здоровые		
	Клен остролистный	Вергинильная		Здоровые		
	Лиственница европейская	Вергинильная		Здоровые		
	Спирея японская	Имоторная		Удовле.		
<b>Бульвар по ул. Кирова</b>	Липа мелколистная	Старые	Рядовая посадка деревьев	Ослабленные	Хорошее	Соответствует
	Каштан конский	Средневозрастная		Здоровые		
	Ель колючая	Вергинильная		Сильно ослабленные		
	Клен остролистный	Старые		Здоровые		
<b>Сквер Привокзальный</b>	Липа мелколистная	Старые	Групповые посадки	Ослабленные	Удовл.	Соответствует
	Клен остролистный	Средневозрастная		Ослабленные		
	Каштан конский	Старые		Ослабленные		
	Ясень обыкновенный	Средневозрастная		Здоровые		
	Клен ясенелистный	Старые		Здоровые		
	Туя западная 'Smaragd'	Вергинильная		Здоровые		
	Ель европейская	Имоторная		Здоровые		
	Липа крупнолистная	Имоторная		Здоровые		



<b>Площадь Привокзальная</b>	Туя западная 'Danica'	Вергинильная	Групповые посадки	Здоровые	Удовл.	Соответствует
	Туя западная 'Smaragd'	Вергинильная		Здоровые		
	Туя западная золотистая	Вергинильная		Здоровые		
	Ель колючая голубая	Старые		Ослабленные		
	Можжевельник казацкий	Вергинильная		Здоровые		
	Барбарис Тунберга 'Atropurpurea'	Вергинильная		Здоровые		
	Ива плакучая	Вергинильная		Здоровые		
	Береза повислая	Вергинильная		Здоровые		
	Дуб черешчатый	Вергинильная		Ослабленные		
	Каштан конский обыкновенный	Вергинильная		Ослабленные		
	Клен остролистный	Вергинильная		Ослабленные		
	<b>Сквер завода имени Коминтерна</b>	Липа мелколистная		Старые		
Дуб черешчатый		Старые	Здоровые			
Клен остролистный		Старые	Здоровые			
Ясень обыкновенный		Старые	Здоровые			
Береза повислая		Старые	Здоровые			
Боярышник мягковатый		Средневозрастные	Здоровые			
Клен ясенелистный		Старые	Здоровые			
Каштан конский обыкновенный		Старые	Здоровые			
Рябина обыкновенная		Вергинильная	Здоровые			
Клен серебристый		Старые	Здоровые			
Вяз шершавый		Вергинильная	Здоровые			
Тополь бальзамический		Имоторная	Здоровые			
Ива ломкая		Вергинильная	Здоровые			
Дерен белый		Вергинильная	Удовл.			
Карагана кустарниковая		Вергинильная	Удовл.			

<b>Улица Космонавтов</b>	Клен остролистный	Средневозрастная	Рядовая уличная посадка деревьев	Ослабленные	Удовл.	Соответствует
	Ясень обыкновенный	Средневозрастная		Здоровые		
	Липа крупнолистная	Средневозрастная		Здоровые		
	Липа мелколистная	Средневозрастная		Ослабленные		
	Каштан конский обыкновенный	Старые		Ослабленные		
	Дуб черешчатый	Вергинильная		Здоровые		
	Береза повислая	Старые		Ослабленные		
	Яблоня домашняя	Старые		Сильно ослабленные		
	Ель обыкновенная	Старые		Здоровые		
	Ольха серая	Старые		Здоровые		
	Ива белая	Старые		Ослабленные		
	Клен ясенелистный	Старые		Ослабленные		
	Рябина обыкновенная	Старые		Здоровые		
	Туя западная «Смарагд»	Вергинильная		Здоровые		
	Карагана древовидная	Средневозрастная		Удовл.		
	Хоста ланцетолистная	Имоторная		Хорошее		
Воронец колосистый	Средневозрастная	Хорошее				

## МОДУЛЬ 4

### Лабораторная работа № 10

#### Функциональное зонирование территории жилого района

**Цель работы:** оценить зонирование территории жилого района как средства экологического регулирования проектного решения, обеспечивающего приоритетность вопросов охраны окружающей среды.

#### Контрольные вопросы:

1. Основные виды планировочной структуры города и их краткая характеристика.
2. Основные функциональные зоны города.
3. Селитебная зона города, ее функции, общий принцип формирования.
4. Перечислите основные элементы селитебной территории.
5. Внеселитебная зона города, ее назначение.
6. Каковы основные требования взаимного размещения селитебной и внеселитебной зон при функциональном зонировании территории города.

**Материал и оборудование:** карта города Витебска.

В основе функциональной организации территории города лежит принцип зонирования, согласно которому выделяют три основные зоны: селитебная, внеселитебная (производственная), ландшафтно-рекреационная.

Селитебная зона – территория, предназначенная для размещения жилищного фонда, общественных зданий и сооружений, в том числе научно-исследовательских институтов и их комплексов, а также отдельных коммунальных и промышленных объектов, не требующих устройства санитарно-защитных зон. Основными элементами селитебной территории являются:

жилые микрорайоны и кварталы; участки учреждений и предприятий обслуживания внемикрорайонного значения; зеленые насаждения общего пользования внемикрорайонного значения; улицы, дороги, проезды, площади внемикрорайонного значения.

Внеселитебная зона предназначена для размещения промышленных предприятий и связанных с ними объектов, комплексов научных учреждений с их опытными производствами, коммунально-складских объектов, объектов инженерной инфраструктуры, сооружений внешнего транспорта, путей внегородского и пригородного сообщений. В составе производственной зоны обычно выделяют подзоны (районы): промышленные; научные и научно-производственные; санитарно-защитные; коммунально-складские.

Ландшафтно-рекреационная зона – зона, в которой находятся места массового отдыха населения, крупные массивы зелени, курортные территории и районы охраняемого ландшафта.

Городская территория включает в себя также прочие земли, где размещаются питомники, кладбища, отдельные объекты инженерной

инфраструктуры и внешнего транспорта, полигоны по обезвреживанию бытовых отходов, земли для ведения сельского хозяйства и др.

**Задание.** По предложенному плану и карте города оценить территорию выбранного района города:

1. Оценить местоположение района в структуре городских территорий в соответствии с их экологическими характеристиками.

2. Оценить влияние ландшафтных характеристик территории и прилегающих территорий на их функциональное зонирование и планировочное решение.

3. Выделить важные положительные и отрицательные факторы воздействия на территорию изучаемого района.

План функционального зонирования территории жилого района.

1. *Эколого-градостроительные требования к проекту планировки жилого района.*

1.1. Современный жилой район, как правило, формируется на межмагистральных территориях площадью более 500 га группами кварталов. Границами территории жилого района являются **красные линии** магистралей общегородского и районного значения, а в случае примыкания к другим функциональным зонам – утвержденные границы и планировочные ограничения (технические зоны и др.).

В структуре территорий жилого района участки или кварталы жилого типа занимают более 25 % территории, а участки или кварталы других типов менее 25 % каждый. Размещение новых жилых районов осуществляется на свободных и реконструируемых территориях.

Нормативами установлены следующие требования к застройке территории селитебного назначения:

– удобный рельеф, допускающий возведение зданий и сооружений, прокладку улиц и дорог, организацию сбора и отвод поверхностных вод, сохранение рельефа местности;

– устойчивые грунты;

– благоприятные условия для организации инженерного обеспечения водоснабжения, канализации, теплоснабжения, транспортного обслуживания.

На территории жилого района размещаются: микрорайоны, жилые кварталы, объекты общего пользования с участками периодического обслуживания, в том числе спортивные сооружения, зеленые насаждения, а также коммунальные объекты, гаражи-стоянки и др.

Территория жилого района регламентируется следующими **нормативными показателями:**

– плотностью застройки жилых, смешанных жилых участков (суммы участков); соответствующей требованиям застройки структурной части города;

- удельными размерами территории общего пользования;
- плотностью населения на территории жилого района в межмагистральных территориях площадью: от 500 до 1000 га – 200 - 280чел./га, более 1000 га – 170-240 чел./га;
- обеспеченностью жителей района озелененными территориями, которая складывается из суммы удельных площадей: озелененных площадей придомовой территории, 50 % участков детских дошкольных учреждений, 40 % участков школ, участков зеленых насаждений общего пользования жилого района (микрорайона).

1.2. Функционально-планировочная организация территории жилого района должна учитывать геоморфологические и микроклиматические условия, способствующие рассеиванию, вредных примесей в атмосферном воздухе.

1.3. При проектировании уличной сети жилого района необходимо учитывать существующий и перспективный уровень загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта и предусматривать планировочные и технические мероприятия по локализации зон загазованности.

1.4. В случае примыкания жилого района к территориям с зелеными насаждениями общего пользования следует осуществить организацию их буферной части для обеспечения потребности населения жилого района в озелененных территориях, но не далее, чем в 15-минутной доступности и без уничтожения существующих зеленых насаждений. Расстояние между жилой застройкой и ближним краем лесопаркового массива следует принимать не менее 30 м для лиственных и 50 м для хвойных пород.

1.5. Расстояние от края проезжей части скоростных городских дорог до линии жилой застройки устанавливается на основании расчета уровня шума. В зоне шумового дискомфорта следует размещать зеленые насаждения, гаражи, стоянки, АЭС и другие коммунальные сооружения, отдельные объекты обслуживания.

Таблица 1 - Нормируемые элементы территории жилого района

№	Элементы территории жилого района	Удельные площади элементов территории жилого района, м <sup>2</sup> /чел.	
		Межмагистральные территории площадью	
		500 -1000 га	более 1000 га
	Территории общего пользования жилого района всего	не более 14,0	не более 16,0
	В том числе:		
1	участки спортивных сооружений	не менее 1,0	не менее 1,2
2	участки зеленых насаждений	не менее 4,0	не менее 5,0
3	участки коммунальных объектов	не более 0,2	не более 0,2
4	участки гаражей-стоянок	не более 0,8	не более 0,8

1.6. Гаражи-стоянки на территории жилого района целесообразно размещать на участках коммунального и общественного назначения, территориях транспортных сооружений, на участках с резким перепадом рельефа.

**2. Оценка общего функционального зонирования** территории должна учитывать всю совокупность факторов, оказывающих воздействие на проектируемую территорию.

**Среди факторов, оказывающих отрицательное влияние**, необходимо, прежде всего, выделить воздействие промышленных и энергетических объектов, крупных объектов коммунального хозяйства, транспортных магистралей (автомобильные и железнодорожные), мостов, эстакад и других сооружений. Перечисленные объекты могут находиться за пределами проектируемого района, однако их влияние необходимо учитывать при определении зоны эколого-планировочных ограничений.

**Важные положительные факторы воздействия** – крупные зеленые массивы, реки и большие водоемы, открытые пространства, имеющие контакты с лесопарковой зоной.

2.1. Последовательность проведения оценки функционального зонирования территории жилого района целесообразно принять следующую:

– анализ существующей градостроительной ситуации, положения района в системе городской застройки в соответствии с основными требованиями и положениями разделов «Охрана окружающей среды» в Концепции генерального плана города, территориальных комплексных оценок и концепций развития административной территории, включающей проектируемый или реконструируемый район;

– анализ ландшафтной ситуации и пригодности территорий, наличия на проектируемых или прилегающих участках объектов природного комплекса (лесопарков, парков, водных объектов) и ландшафтно-исторических объектов (охраняемых зон памятников истории и культуры, усадеб, зон охраняемого ландшафта, и др.);

– анализ промышленно-производственных, коммунально-складских, энергетических и других инженерных объектов, транспортных сооружений, крупных транспортных коммуникаций (в т.ч. авиационных и железнодорожных).

2.2. В условиях реконструкции жилого района следует осуществлять ряд дополнительных исследований:

– анализ возможностей оптимизации плотности застройки и выделение зон ограниченного использования территории для наземного и подземного строительства;

– анализ существующих и проектируемых красных линий застройки, линий природоохранного регулирования;

– анализ существующей системы озеленения, оценку возможностей его оптимизации за счет сноса ветхого фонда;

– оценку акустического режима территории и выделение территорий и объектов шумового дискомфорта;

– исследование загрязненности почв и воздуха для уточнения размеров санитарно-защитных зон от коммунальных и производственных объектов;

– обоснование предложений по выводу нежилых объектов с территории жилого района.

2.3. Оценка воздействия производственно-коммунальных объектов и улично-дорожной сети, расположенных внутри и на границах проектируемой территории, должна включать:

– функциональные характеристики объектов, целесообразность их сохранения;

– установление границ санитарно-защитных зон и планировочных ограничений. Оценка воздействия объектов на окружающую среду по отдельным параметрам (шум, вибрация, загрязнения и пр.) и разработка комплексных мероприятий.

2.4. Оценка воздействия существующих транспортных магистралей и объектов, инженерной инфраструктуры должна содержать.

2.5. Анализ системы открытых пространств – существенный аспект оценки функционального зонирования территории, так как открытые пространства – важнейшие структурно-планировочные элементы с различными функциональными характеристиками. К ним относятся компоненты природного ландшафта (водоемы, озелененные территории общего пользования – бульвары, скверы и др.), свободные территории и т. д. В результате анализа должны быть выявлены тенденции развития и трансформации открытых пространств, установлены их планировочные, функциональные и пространственные взаимосвязи с различными элементами жилого района и прилегающих территорий.

Характер застройки, высотность, плотность, композиционно-градостроительное решение должны способствовать активному визуальному раскрытию особенностей естественного рельефа, водных и зеленых массивов. Высокое качество функционально-планировочной и архитектурно-пространственной организации жилого района должно рассматриваться как существенный экологический фактор, обеспечивающий визуально-эстетический комфорт и благоприятность проживания.

**Практическая работа**  
**Оценка экологических проблем**  
**основных областных центров Республики Беларусь**

**Цель работы:** проанализировать состояние окружающей среды в областных городах и г. Минске.

**Контрольные вопросы:**

1. Перечислите категории рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска.
2. Данные каких органов государственного управления, предприятий и организаций используются для расчёта показателей рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска.
3. В соответствии с каким ТКП производится расчёт рейтинга экологического развития регионов Республики Беларусь за 2020 год проведен для Республики Беларусь соответствии с
4. Перечислите показатели категории «Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды» при экологическом ранжировании городов.
5. Перечислите показатели категории «Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду» при экологическом ранжировании городов.
6. Перечислите показатели категории «Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики» при экологическом ранжировании городов.

**Материал и оборудование:** Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень/ Е.И.Громадская, С.А.Дубенок, С.В.Сушко и [др.]; Под общей редакцией к.т.н., С.А.Дубенок – Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.

**Задание.** По данны Экологического бюллетня изучить экологическое состояние окружающей среды в областных городах Республики Беларусь. План изучения: 1) Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников. 2) Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты города. 3) Качество воды источников централизованного питьевого водоснабжения. 4) Обращение с отходами производства и ТКО. 5) Место в рейтинге экологического развития городов. 6) Комплекс мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки. Заполнить таблицу 1. Подготовить презентацию по полученным данным (не менее 25 слайдов) и доклад. Сделать вывод, выделив основные экологические проблемы городов Беларуси на примере областных центров и г. Минска.



Таблица 1 - Результат расчёта рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска

Название города	Название категории	Группа показателей	Количество баллов	Место в рейтинге	
		Итого по категории 1			
		Итого по категории 2			
		Итого по категории 3			

## РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

### Контроль знаний по модулю I

1. *Экологическое равновесие в урбоэкологии определяют как:* а) состояние экосистемы, при котором сохраняются постоянными биологическое разнообразие (состав биоты), биологическая продукция и круговороты элементов питания; б) состояние природно-антропогенной среды, при котором обеспечивается ее длительная устойчивость; в) состояние среды, в которой нарушаются условия репродуктивности основных абиотических элементов геосферы; г) нет правильного ответа.

2. *Какие уровни экологического равновесия различают:* а) уровень полного, условного, относительного равновесия; б) уровень полного, неполного, смешанного равновесия; в) макро-, микро- и мезоуровени равновесия; г) абсолютного, раздельного и экологического равновесия.

3. *К зоне наибольшей хозяйственной активности, входящей в БТС (биоэкономическую территориальную систему) относят:* а) крупные города; б) зоны с интенсивным сельским хозяйством; в) комплексы предприятий с добывающей промышленностью; г) все ответы правильные.

4. *Зона экологического равновесия в БТС (биоэкономической территориальной системе) создается с целью:* а) развития промышленности; б) развития городских агломераций; в) компенсации экологически неполноценных регионов; г) сохранения ландшафтов, необходимых для воспроизводства природных ресурсов.

5. *Зона санитарной охраны (ЗСО) - это:* а) специально выделенная территория, связанная с источником водозабора, на которой создается особый режим, ограничивающий загрязнение воды; б) специально выделенная территория между предприятием и жилой застройкой; в) территория предназначенная для подземного забора воды; г) нет правильного ответа.

6. *Первый пояс ЗСО подземных источников предусматривает:* а) предотвращение загрязнения, в том числе умышленное; б) предотвращение микробиологического загрязнения; в) запрещение нахождения посторонних лиц и огораживание забором; г) предотвращение химического загрязнения.

7. *Механический блок очистки сточных вод не включает:* а) решетки; б) песколовки; в) аэротенки; г) метатенки.

8. *Какова функция вторичных отстойников:* а) удаление органических веществ; б) удаление плавающих примесей; в) оседание активного ила; г) обеззараживание воды.

9. *При расчете индекса загрязнения вод постоянными (основными) показателями являются:* а) нефтепродукты и тяжелые металлы; б) нитрат нитритный и фосфор фосфатный; в) тяжелые металлы; г) БПК<sub>5</sub> и растворенный кислород.

10. *Лимитирующий показатель вредности (ЛПВ) это:* а) признак вредности, который проявляется при наибольшей концентрации вещества; б) признак вредности, который проявляется при наименьшей концентрации вещества; в) признак вредности, который проявляется при максимальной концентрации вещества; г) признак вредности, который устанавливается расчетным путем.

11. *Активный ил это:* а) специально культивируемое сообщество, формирующееся при низких концентрациях органических веществ; б) сложная экосистема, в состав которой входит большое количество представителей микрофлоры и микрофауны; в) сложная экосистема, которая формируется при низких органических нагрузках; г) специально культивируемое сообщество, которое формируется при значительных антропогенных нагрузках.

12. *К какому трофическому уровню сообщества активного ила относятся голозойные простейшие – раковинные корненожки, жгутиконосцы и пр.:* а) к I трофическому уровню; б) ко II трофическому уровню; в) к III трофическому уровню; г) к IV трофическому уровню.

13. *Перегруженный ил это:* а) ил не справляющийся с поступающими загрязнениями; б) ил работающий при более низких органических нагрузках; в) ил, развивающийся при очень низкой концентрации органических веществ и малом количестве свободных бактерий; г) ил работающий при пониженном уровне органического питания и избытке минерального азота.

14. *Изъятие сложноокисляемых органических веществ, сорбированных илом, и активное образование полисахаридного геля характерно для:* а) стадии регенерации; б) второй стадии полного биологического окисления; в) работы вторичных отстойников; г) процесса вспухания активного ила.

15. *Для какого типа модификации характерна следующая характеристика «ил формируется при более низких органических нагрузках. Фауна биоценоза разнообразнее, преобладает один или несколько видов. Хлопки умеренной величины, довольно плотные:* а) перегруженный ил; б) голодающий ил; в) умеренно-нагруженный ил; г) ил при низких нагрузках.

16. *Какой вид очистки сточных вод происходит в аэротенках:* а) физический; б) механический; в) химический; г) биохимический.

17. *К чему приводит массовое вспенивание активного ила:* а) увеличению органических веществ; б) ухудшению качества очистки сточной воды; в) увеличению качества очистки сточной воды; г) уменьшению органических веществ и микроорганизмов.

18. *Какова оптимальная температура жизнедеятельности микроорганизмов при биологической очистке сточных вод:* а) 5–10 °С; б) 10–15 °С; в) 16–23 °С; г) более 40 °С.

19.  $K_{Ci} = C/C_{\phi i}$ ;  $K_{Ci}$  – это : а) полиэлементный показатель загрязнения почвы; б) концентрация загрязняющего вещества в почве; в) содержа-

ние предельно допустимых количеств загрязняющих веществ; г) коэффициент концентрации загрязнения почвы.

20. *Виды городских почв:* а) естественные, антропогенные; б) урбано-земы; в) техноземы; г) все варианты верны.

21. *К лимитирующим показателям вредности почв относятся:* а) водно-миграционный, воздушно-миграционный; б) органолептический, фитоаккумуляционный; в) санитарно-токсикологический; г) все ответы правильные.

22. *Санитарно-энтомологический показатель характеризуется:* а) наличием химических веществ в почве; б) наличием гельминтов в почве; в) наличием синантропных насекомых; г) наличием бактерий в почве.

23. *ПДК почвы:* а) установлена в экспериментально-климатических условиях; б) не влияет прямо или косвенно на человека и среду; в) не влияет на самоочищающую способность почвы; г) все ответы верны.

24. *Урбанозем – это:* а) почвы запечатанные под застройкой; б) почвы подверженные большим химическим загрязнениям; в) почвы с большой антропогенной нагрузкой; г) нет правильного ответа.

25. *Основные показатели нормирования почв:* а) ПДК и ДОК; б) ПДК и ОДК; в) ОДК и НОК; г) ВДК и ДОК.

26. *Выберите неверный ответ:* а) для крупных городов Беларуси характерно развитие процесса карстрообразования в связи с геологическими особенностями региона; б) геотермальные аномалии в почвах городов приводят к изменению микробиоценозов почв; в) санитарно-гельминтологические показатели, характеризуют наличие в почве синантропных насекомых; г) нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям (ПДК<sub>п</sub>).

27. *Какой показатель характеризует влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз:* а) транслокационный, б) фитоаккумулятивный, в) миграционно-водный, г) общесанитарный.

28. *Какой показатель характеризует переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений:* а) транслокационный, б) миграционно-воздушный, в) миграционно-водный, г) общесанитарный.

29. *Виды загрязнения почв в городе:* а) биологическое, б) механическое, в) химическое, г) все ответы верные.

30. *Каковы источники загрязнения почв в городах:* а) автотранспорт, б) нарушение работы коммунального хозяйства, в) работа предприятий и складирование отходов, г) все ответы верные.

## **Контроль знаний по модулю II**

1. *Источники загрязнения атмосферы:* а) естественные, антропогенные; б) общие, локальные; в) первичные, вторичные; г) стационарные, технологические.

2. Примером линейных источников загрязнения атмосферы являются: а) автостоянки; б) автотрассы; в) дымовые трубы; г) промышленные предприятия.

3. Для оценки степени суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ используется комплексный показатель: а)  $C_{\max}$ ; б) ИЗВ; в) ИЗА; г) ОБУВ.

4. Антропогенные источники воздействия на атмосферу городов: а) стационарные; б) естественные; в) общие; г) передвижные; д) а+г.

5. ПДК<sub>М.Р.</sub> больше ПДК<sub>С.С.</sub>, если: а) порог токсического действия менее чувствителен, чем рефлекторного; б) порог рефлекторного действия менее чувствителен, чем токсического; в) отсутствует порог рефлекторного действия; г) порог рефлекторного действия выражен недостаточно четко.

6. Основной проблемой использования биогаза является: а) относительно высокий процент серы, б) относительно высокий процент сернистых соединений, в) содержание галогенов в выбросах установки, г) все ответы верные.

7. Затененные источники загрязнения атмосферы это: а) источники, располагающиеся за пределами территории города; б) источники, загрязняющие вещества из которого поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы; в) источники, расположенные в недеформированном потоке ветра; г) источники, расположенные в зоне аэродинамической тени здания.

8. Принцип предотвращения рефлекторных реакций у человека положен в основу установления: а) ПДК промышленной площадки; б) ПДК максимально разовой; в) ПДК атмосферного воздуха; г) ПДК среднесуточной.

9. Шум оценивают: а) уровнем звуковой плотности; б) эквивалентным уровнем звука; в) уровнем громкости звука; г) уровнем звукового давления.

10. Уровень шума около зданий в дневное время не должен превышать: а) 55дБ; б) 45дБ; в) 65дБ; г) 35дБ.

11. Вибрации бывают: а) локальные, общие; б) локальные, антропогенные; в) стационарные, передвижные; г) общие, естественные.

12. Уровень, который при ежедневной работе, в течение всего рабочего стажа и в отдельные сроки не вызывает отклонений и заболеваний здоровья человека это: а) ПДК вибрации; б) ПДК шума; в) ПДК<sub>и.и.</sub>; г) ПДК<sub>эми.</sub>

13. Классификация источников электромагнитного загрязнения в городах включает: а) общие, локальные; б) точечные, линейные, площадные; в) точечные, узловые, линейные; г) затененные, незатененные.

14. Примером точечного источника электромагнитного загрязнения служат: а) радиостанции; б) промышленные установки; в) линии электропередач; г) электрифицированные линии железных дорог.

15. Источники радиоволнового излучения мощностью более 100 кВт размещаются: а) в пределах населенных пунктов; б) за пределами населенных пунктов; в) в промышленной зоне; г) за пределами промышленной зоны.

16. Болевой порог, за которым возможно непосредственное повреждение слухового аппарата: а) 120-130 дБ; б) 150-170 дБ; в) 80 дБ; г) 100-120 дБ.

17. Каковы основные источники загрязнения атмосферного воздуха в городах Беларуси: а) стационарные; б) автотранспорт; в) жилищно-коммунальное хозяйство; г) естественные.

18. Какие факторы способствуют рассеиванию примесей в атмосфере: а) скорость ветра 4-7 м/с, туманы, инверсии; б) скорость ветра 1-2 м/с, конвекция, осадки более 0,5 мм; в) конвекция, осадки, менее 0,5 мм, солнечная радиация; г) осадки более 0,5 мм, конвекция, туманы.

19. Потенциал загрязнения атмосферы: а) это сочетание метеоусловий, которые определяют рассеивание или накопление примесей; б) это факторы, которые образуют порог «опасной скорости ветра»; в) это метеофакторы, которые приводят к инверсии; г) это факторы, которые влияют на показатели атмосферы.

20. Лондонский смог: а) наблюдается при нулевых температурах и безветренной погоде; б) наблюдается при низких температурах и при осадках менее 0,5 мм; в) наблюдается при туманах и осадках более 0,5 мм; г) наблюдается при повышенных температурах и большой солнечной радиации.

21. Санитарно-защитная зона – это: а) специальная зона, выделяемая между жилой застройкой и зоной внешнего транспорта; б) специальная зона, выделяемая между предприятием и буферной зоной; в) специальная зона, выделяемая между предприятием и жилой застройкой; г) специальная зона, выделяемая между буферной зоной и жилой застройкой.

22. Какие из перечисленных условий благоприятны для рассеивания примесей в атмосфере: а) условия приподнятой температурной инверсии; б) условия приземной температурной инверсии; в) конвективные условия; г) условия температурной стратификации.

23. Функции санитарно-защитной зоны: а) обеспечение требуемых гигиенических норм содержания в приземном слое атмосферы загрязняющих веществ; б) уменьшение отрицательного влияния промышленных предприятий на население; в) архитектурно-эстетический барьер между промышленными и жилыми районами; г) все ответы правильные.

24. Приземные инверсии способствуют: а) концентрации низких выбросов; б) концентрации высоких выбросов; в) рассеиванию загрязняющих веществ; г) не влияют на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере.

25. Вертикальное перемешивание воздушных масс в приземном слое атмосферы – это: а) инверсия; б) конвекция; в) приземная инверсия; г) приподнятая конвекция.

26. Какой из методов утилизации отходов получил наибольшее распространение в Республики Беларусь: а) мусоросжигающие заводы; б) складирование на полигонах и свалках; в) компостирование; г) мусороперерабатывающие заводы.

27. Селективная система сбора отдельных составляющих ТБО (твердые бытовые отходы), обеспечивающая получение относительно чистых вторичных ресурсов от населения и уменьшение количества вывозимых отходов, это: а) валовый сбор; б) раздельный сбор; в) сбор крупногабаритных отходов; г) нет правильного ответа.

28. Полигоны твердых коммунальных отходов выполняют следующие функции: а) складирование твердых бытовых отходов; б) защита от загрязнения атмосферы, почв, подземных и поверхностных вод; в) обеззараживание ТБО биологическим способом; г) все ответы правильные.

29. Второй класс опасности твердых промышленных отходов характеризуется как: а) малоопасные; б) умеренно опасные; в) чувствительно опасные; г) высокоопасные.

30. Как называется термический метод переработки и обезвреживания отходов, в ходе которого происходит разложение органических соединений под действием высоких температур при отсутствии или недостатке кислорода: а) гранулирование; б) пиролиз; в) выщелачивание; г) флотация.

### **Контроль знаний по модулю III**

1. К насаждениям общего пользования в условиях города относят: а) санитарно-защитные зоны; б) скверы; в) озеленение приусадебных участков; г) зеленные массивы детских и лечебных учреждений.

2. Рудеральная растительность это: а) совокупность популяций видов сеgetальных сорняков; б) сообщества регулярно или периодически нарушаемых местообитаний, как правило, антропогенного происхождения (свалки, городские пустыри, заброшенные строительные площадки и т. д.); в) растительность пастбищ и интенсивно вытаптываемых участков; г) растительность цветочных клумб.

3. Выберите ответ, наиболее полно характеризующий функции зеленых растений в создании оптимальной городской среды: а) улучшение микроклимата урбоэкосистемы; б) улучшение микроклимата и защита от шума; в) рекреационная, структурно-планировочная, декоративно-художественная и санитарно-гигиеническая функции; г) ионизация воздуха и фитонцидные функции.

4. Наиболее выраженным барьерным эффектом по отношению к распространению животных обладают: а) автомагистрали; б) застроенные территории; в) пустыри, свалки; г) кладбища.

5. Синантропы это: а) животные, обитающие только в жилых зданиях; б) животных, которые могут обитать на территориях, мало затрону-

тых человеком; в) виды, которые регулярно обитают на территории населенных пунктов или в сооружениях человека; г) животные, обитающие в заброшенных постройках.

6. Основные лимитирующие факторы, при «заселении» животными постройки человека (выбрать не правильный ответ): а) относительная влажность воздуха; б) атмосферное давление; в) температура воздуха; г) наличие пищи.

7. Ложная синантропия характерна: а) для животных, обитающих только в жилых зданиях; б) для животных, обитающих во всех типах зданий; в) для животных, численность которых в природных биотопах высока, в результате чего часть особей заходит в рядом расположенные застройки; г) для животных, находящихся в антропоценозах только в определенное время (например, в период зимовки) или при определенных условиях, не образуя там самовозобновляющейся популяции.

8. В структуре зеленых насаждений городов – насаждения ограниченного пользования это: а) зеленые массивы лечебных, детских и других учреждений; б) скверы и парки; в) ветрозащитные полосы; г) санитарно-защитные зоны.

9. В структуре зеленых насаждений городов – насаждения общего пользования это: а) зеленые массивы лечебных, детских и других учреждений; б) скверы и парки; в) ветрозащитные полосы; г) санитарно-защитные зоны.

10. В структуре зеленых насаждений городов – насаждения специального пользования это: а) внутриквартальные насаждения; б) вертикальное озеленение; в) растительность приусадебных участков; г) санитарно-защитные зоны.

11. Макроструктура природного каркаса города это: а) озеленение скверов, садов и т.п. по отношению к улицам и постройкам в пределах отдельных микрорайонов города; б) такие элементы озеленения, как газоны, цветники; в) пригородные леса; г) расположение зеленых массивов в черте города, по отношению к массивам жилых кварталов.

12. Критериями определения степени гемеробности урбанизированных биогеоценозов являются: а) степень утраты видов естественной флоры; б) степень нарушенности почвенного покрова; в) содержание ионов водорода и питательных веществ в почве; г) все ответы правильные.

13. Как называется направление фитомелиорации, при котором используется растительный покров городов и пригородных зон для отдыха населения: а) эстетическое б) saniрующее; в) рекреационное; г) архитектурно-планировочное.

14. Как называется направление фитомелиорации, предполагающее проектирование и создание комплексных зеленых зон городов и населенных пунктов: а) эстетическое б) saniрующее; в) рекреационное; г) архитектурно-планировочное.



15. *Каковы функции зеленых насаждений в условиях городской среды:* а) пыле- и газозащитная, б) санитарно-гигиеническая, в) рекреационная, г) все ответы верные.

16. *Пасквильная растительность это:* а) совокупность популяций видов сеgetальных сорняков; б) сообщества регулярно или периодически нарушаемых местообитаний, как правило, антропоического происхождения (свалки, городские пустыри, заброшенные строительные площадки и т. д.); в) растительность пастбищ и интенсивно вытаптываемых участков; г) растительность цветочных клумб.

17. *Сеgetальная растительность это:* а) совокупность популяций растений на увлажненных участках почвы; б) сообщества регулярно или периодически нарушаемых местообитаний, как правило, антропоического происхождения (свалки, городские пустыри, заброшенные строительные площадки и т. д.); в) растительность пастбищ и интенсивно вытаптываемых участков; г) сорная растительность цветочных клумб, палисадников и других участков, занятых зелеными насаждениями.

18. *Выберите неверное суждение:* а) ослабленные городские растения не отличаются от лесных по своему физиологическому состоянию и морфологии (по характеру кроны, строению корневой системы и т.д.); б) у городских деревьев как правило снижена фотосинтетическая активность; в) городские деревья как правило имеют более редкую крону, мелкие листья; г) газообмен у городских растений имеет повышенную интенсивность.

19. *Как называется синантропия, при которой виды находятся в антропоценозах только в определенное время (например, в период (зимовки) или при определенных условиях, не образуя там самовозобновляющейся популяции:* а) облигатная; б) временная; в) факультативная; г) частичная.

20. *Как называется синантропия, при которой вид принадлежит к антропоценозу на определенной стадии своей жизнедеятельности (возможно лишь часть суток), а в остальное время входит в другие биоценозы:* а) облигатная; б) временная; в) факультативная; г) частичная.

#### **Контроль знаний по модулю IV**

1. *Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории Беларуси являются:* а) автотранспорт; б) объекты энергетики; в) промышленные предприятия; г) автотранспорт, объекты энергетики, промышленные предприятия.

2. *В составе выбросов в атмосферу в Республике Беларусь преобладают:* а) оксид углерода; б) углеводороды; в) оксиды азота; г) фенолы.

3. *Выбросы оксида углерода в атмосферу городов составляют:* а) более 50 %; б) 18 %; в) 10 %; г) менее 5 %.

4. *Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода и оксидов азота обусловлена работой:* а) сельского хозяйства; б) промышленных предприятий; в) автотранспорта; г) электроэнергетики.

5. Согласно Стратегии по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года:

а) принято решение о развитии электротранспорта, как национального приоритета; б) существенно обновлены транспортные парки; в) белорусскими производителями освоен выпуск электробусов; г) все ответы верные.

6. В структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников наибольшая доля: а) снабжение паром, горячей водой; б) снабжение электроэнергией, газом; в) обрабатывающая промышленность; г) транспортная деятельность.

7. Доля обрабатывающей промышленности в структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников составляет: а) 38,3 %, б) менее 1 %, в) 13,7 %, г) 5,2 %.

8. Для оценки состояния атмосферного воздуха в республике используют: а) максимальные разовые предельно допустимые концентрации (далее – ПДК) загрязняющих веществ; б) среднесуточные ПДК; в) среднегодовые ПДК; г) все перечисленные.

10. Природные воды Беларуси используются на: а) хозяйственно-питьевое водоснабжение; б) производственные нужды и гидроэнергетику; в) судоходство, рекреацию, рыбо-прудовое хозяйство и орошение; г) все перечисленные направления.

11. Основная составляющая в использовании воды по республике приходится на использование воды на: а) гидроэнергетику; б) хозяйственно-питьевые нужды; в) рекреацию; г) орошение.

12. В структуре общего водозабора на долю подземных вод в республике приходится: а) 10 %; б) 20 %; в) 30 %; г) более 50 %.

13. Наибольший процент от общего объема сточных вод приходится на долю: а) Минской области и г. Минска; б) Брестской области; в) Витебской области; г) Могилевской области.

14. Наименьший процент от общего объема сточных вод приходится на долю: а) Минской области и г. Минска; б) Брестской области; в) Витебской области; г) Могилевской области.

15. Основным направлением (-ями) повышения рационального использования водных ресурсов является (-ются): а) сокращение удельного водопотребления; б) сокращение непроизводительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий; в) увеличение объемов повторного использования очищенных сточных вод, в том числе поверхностных сточных вод; г) все перечисленные мероприятия.

16. Наибольшими объемами на территории республики выделяются: а) отходов растительного и животного происхождения; б) отходы жизнедеятельности населения и подобных им отходов промышленности; в) отходы химических производств; г) галитовые отходы и глинисто-солевые шламы калийных производств.

17. На долю галитовых отходов и глинисто-солевых иламов калийных производств от общей массы отходов приходится: а) более 70%; б) 50%; в) менее 10%; г) 20%.

18. Без учета галитовых отходов, глинисто-солевых иламов и фосфогипса наибольшее количество отходов образуется на предприятиях: а) г. Минска; б) г. Витебска; в) г. Могилева; г) г. Гродно.

19. основополагающий программный документ, определяющий основную задачу в сфере обращения с коммунальными отходами в стране: а) «Зеленый город»; б) «Закон об обращении с отходами»; в) «Цель 99»; г) «Охрана окружающей среды и природопользование».

20. Согласно градостроительным нормам, уровень озелененности поселений республики должен составлять не менее: а) 40%; б) 30%; в) 20%; г) 1%.

21. Для крупных городов Беларуси норма обеспеченности населения зелеными насаждениями составляет: а) 5 м<sup>2</sup> / чел.; б) 15 м<sup>2</sup> / чел.; в) 10 м<sup>2</sup> / чел.; г) 30 м<sup>2</sup> / чел.

22. Категория «Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды» расчёта рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска не включает показатель: а) водные ресурсы; б) атмосферный воздух; в) биоразнообразие; г) обращения с отходами.

23. Категория «Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду» включает: а) оценку уровня воздействия на окружающую среду в пределах города производственной сферы, жилищно-коммунального хозяйства, обращения с отходами, энергетики и транспорта.

24. Категория «Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики» по совокупности 12 показателей позволяет комплексно оценить: а) уровень реализации экологической политики на местном уровне, включая вопросы финансирования мероприятий по охране окружающей среды, б) вопросы экологического образования и просвещения, в) уровень вовлечения общественности в вопросы управления окружающей средой и распространения экологической информации, г) все перечисленные.

25. В результате бального расчёта рейтинга экологического развития областных центров и г. Минска за 2020 год на первом месте находится: а) г. Витебск; б) г. Минск; в) г. Гродно; г) г. Могилев.

## **Итоговый контроль**

### **Вопросы к зачету по курсу «Экология городской среды»**

1. Среда жизни человека. Понятие «городская среда».
2. Урбанизация как мощный экологический фактор. Процессы субурбанизации и джентрификации. Их экологические последствия.
3. Своеобразие урбоэкосистем. Основные отличительные черты городской экосистемы.

4. Микроклимат городской среды. Образование «острова тепла».
5. Урбоэкологическое зонирование региона и агломерации. Понятие БТС (биоэкономическая территориальная система).
6. Классификация городских ландшафтов. Проблемы визуального пространства городской среды.
7. Понятие градообразующего фактора, планировочной структуры города. Основные функциональные типы городов.
8. Селитебная зона города, ее показатели. Требования к размещению селитебной зоны.
9. Внеселитебные зоны города: промышленная, коммунально-складская, внешнего транспорта. Требования к их размещению.
10. Характеристика и функции почв в условиях городской среды. Понятия урбано- и технозем.
11. Антропогенная нагрузка на почвы в условиях городской среды.
12. Нормирование загрязняющих веществ в почве. ПДКп, лимитирующие показатели вредности, гигиенические показатели санитарного состояния почвы.
13. Мероприятия по улучшению и защите почв в условиях городской среды.
14. Экологические проблемы водопотребления в городах. Централизованное и децентрализованное водоснабжение.
15. Городские сточные воды: их классификация и характеристика.
16. Городские системы водоотведения: общесплавная, отдельная и комбинированная.
17. Общегородские очистные сооружения.
18. Особенности биоценоза активного ила при различной нагрузке сточными водами.
19. Оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям.
20. Очистные сооружения небольших населенных пунктов (поля фильтрации, биоплато).
21. Принципы нормирования загрязняющих веществ в водной среде городов. Нормативы ПДК, ОДУ (ориентировочно-допустимый уровень), ПДН (предельно-допустимые нагрузки). Лимитирующие признаки вредности.
22. Оценка качества воды на основе экологической безопасности водопользования. Индекс загрязнения вод (ИЗВ).
23. Методы защиты и восстановления поверхностных и подземных вод на урбанизированных территориях.
24. Процессы формирования состава атмосферного воздуха в населенном пункте.
25. Комплексные показатели, характеризующие способность атмосферы рассеивать примеси: метеопотенциал загрязнения воздуха, потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА).

26. Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА).

27. Мероприятия по защите воздушного бассейна урбанизированных территорий.

28. Физические воздействия в условиях городской среды: шумовое загрязнение, вибрации, электромагнитное загрязнение.

29. Влияние передвижных источников на атмосферу города. Основные пути снижения экологического ущерба от транспорта.

30. Структура зеленых насаждений в городе.

31. Своеобразие флоры урбоэкосистем.

32. Роль зеленых насаждений в создании оптимальной городской среды. Озеленение городов Беларуси.

33. Фитомелиорация городской среды. Принципы создания насаждений в городах и пригородах.

34. Структура города как фактор формирования фауны.

35. Феномен и формы синантропии.

36. Специфика состава, распределения и некоторых черт экологии животных урбанизированных территорий.

37. Состав, свойства и объем твердых коммунальных отходов.

38. Сбор и удаление ТКО (твердые коммунальные отходы).

39. Утилизация ТКО: полигоны твердых коммунальных отходов.

40. Утилизация ТКО: полевое компостирование, его экологическое значение.

41. Утилизация ТКО: мусороперерабатывающие и мусоросжигательные заводы.

42. Внешние факторы, влияющие на экологию жилого помещения.

43. Определяющие факторы внутренней среды помещений: микроклиматические особенности, химическое, физическое, биологическое загрязнения.

44. Основные источники загрязнения и экология воздушной среды городов Беларуси.

45. Основные и приоритетные загрязняющие вещества атмосферного воздуха. Их динамика и распределение в городах Беларуси.

46. Использование и экология природных вод урбоэкосистем на территории Республики Беларусь.

47. Загрязнение почв на промышленных площадках предприятий и в городах Беларуси.

48. Проблема утилизации отходов в Беларуси и пути ее решения.

49. Энергетические объекты городов. Классификация и экологическое влияние электростанций на окружающую среду.

50. Экологические аспекты нетрадиционной энергетики. Перспективы использования в Беларуси.

## ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков [и др.]; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
2. Бочкарева, Т.Б. Экологический «джин» урбанизации / Т.Б. Бочкарева. – М.: Мысль, 1988. – 268 с.
3. Литвенкова, И.А. Экология городской среды с основами промышленной экологии: учебно-методический комплекс / И.А. Литвенкова. – Витебск: Издательство ВГУ имени П.М. Машерова, 2007. – 126 с.
4. Литвенкова, И.А. Экология городской среды: Урбоэкология: курс лекций / И.А. Литвенкова – Витебск: Издательство ВГУ имени П.М. Машерова, 2005. – 163 с.
5. Маслов, Н.В. Градостроительная экология / Н.В. Маслов. – М.: Высш. шк., 2002. – 284 с.
6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений 2011г. / БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 2004. – 202 с.
7. Природная среда Беларуси: монография / под ред. В.Ф. Логинова; НАН Беларуси. Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии. – Минск: НОООО «БИП-С», 2002. – 424 с.
8. Самойлов, М.В. Основы энергосбережения: учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – 3-е изд. – Минск: БГЭУ, 2004. – 198 с.
9. Степановских, А.С. Прикладная экология: охрана окружающей среды: учебник для вузов / А.С. Степановских. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 751 с.
10. Челноков, А.А. Основы промышленной экологии: учеб. пособие / А.А. Челноков. – Минск: Высш. шк., 2001. – 343 с.
11. Экологические проблемы городов Беларуси и пути их решения / Обзорная информация / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко, Л.В. Елизарова, М.Е. Фридлянд. – Минск: ОДО «ЛОРАНЖ-2», 2001. – 44 с.
12. Экология города / А.С. Курбатов, В.Н. Башкин, Н.С. Касимов. – М.: Научный мир. 2004. – 624 с.
13. Экология города: учебник / под общ. ред. Стольберга Ф.В. – К.: Либра, 2000.

## ТЕМАТИКА ДЛЯ НАПИСАНИЯ РЕФЕРАТОВ

1. Структура и тенденции развития энергоснабжения.
  2. Воздействие энергетических объектов на окружающую природную среду.
- Традиционная энергетика. Объекты малой энергетики.
3. Энергоснабжение и экологическая ситуация в Беларуси.
  4. Взаимодействие традиционной энергетики с окружающей средой.
  5. Экологические аспекты эксплуатации тепловых электрических станций.
  6. Твердые отходы от предприятий теплоэлектроэнергетики: образование, характеристика, способы хранения и утилизации.
  7. Загрязнение водных источников при работе теплоэлектростанций.
  8. Экологические аспекты создания и эксплуатации атомных электрических станций.
  9. Экологические аспекты переработки отработанного топлива при работе АЭС.
  10. Экологические последствия аварий на АЭС.
  11. Развитие атомной энергетики в Беларуси.
  12. Экологические аспекты создания и эксплуатации гидроэлектростанций.
  13. Нетрадиционные источники энергии и их взаимодействие с окружающей природной средой: геотермальная энергетика (виды и возможности использования).
  14. Малая гидроэнергетика – история развития.
  15. Перспективы использования малой гидроэнергетики на современном этапе развития в мировой практике.
  16. Перспективы использования малой гидроэнергетики на современном этапе развития на территории Беларуси.
  17. Возможности использования космической и низкотемпературной энергетики.
  18. Морская энергетика (энергия приливов и отливов, течений и др). Примеры использования в мировой практике.
  19. Биоэнергетика и ее направления. Биомасса как форма аккумуляции возобновляемой энергии.
  20. Гелиоэнергетика – вопросы экологичности использования и утилизации отходов.
  21. Пассивное использование солнечной энергии методом строительства домов «солнечной архитектуры».
  22. Использование солнечной энергии для целей горячего водоснабжения и отопления с помощью солнечных коллекторов.
  23. Использование солнечной энергии для производства электроэнергии с помощью фотоэлектрических установок.
  24. Ветровая энергетика – опыт мирового использования.
  25. Перспективы использования ветроэнергетики в Беларуси.
  26. Перспективы использования нетрадиционных видов энергии на территории Республики Беларусь.
  27. Особенности формирования выбросов при использовании угля, как топлива в энергетике.
  28. Особенности формирования выбросов при использовании нефти, как топлива в энергетике.
  29. Особенности формирования выбросов при использовании природного газа, как топлива в энергетике.
  30. Методы переработки биомассы в биоэнергетике.

Учебное издание

**ЭКОЛОГИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-33 01 01 БИОЭКОЛОГИЯ**

Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине

Составитель

**ЛИТВЕНКОВА** Инна Александровна

Технический редактор

*Г.В. Разбоева*

Компьютерный дизайн

*Л.В. Рудницкая*

Подписано в печать .2022. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 10,00. Уч.-изд. л. 10,23. Тираж экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.